

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

VINÍCIUS PESENTE BINOTTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ SOCIALMENTE
ASSISTIVO COM CONTROLE BASEADO EM
COMPORTAMENTO DE SELEÇÃO DE AÇÃO PARA
INTERAÇÃO COM CRIANÇAS COM TEA**

VITÓRIA

2018

VINÍCIUS PESENTE BINOTTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ SOCIALMENTE
ASSISTIVO COM CONTROLE BASEADO EM
COMPORTAMENTO DE SELEÇÃO DE AÇÃO PARA
INTERAÇÃO COM CRIANÇAS COM TEA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho

VITÓRIA

2018

VINÍCIUS PESENTE BINOTTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ SOCIALMENTE
ASSISTIVO COM CONTROLE BASEADO EM
COMPORTAMENTO DE SELEÇÃO DE AÇÃO PARA
INTERAÇÃO COM CRIANÇAS COM TEA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de março de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. André Ferreira
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Interno Titular

Prof. Dr. Jês de Jesus Fiais Cerqueira
Universidade Federal da Bahia
Membro Externo Titular

*Às minhas maiores incentivadoras,
Maria Lucia Pesente e Fabíola Martins Bastos*

AGRADECIMENTOS

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica;

Ao meu orientador, Teodiano Bastos, pela oportunidade de pesquisa e pelo aprendizado que me proporcionou ao longo desta trajetória;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante parte do Mestrado;

À professora Eliete Caldeira pelos ensinamentos e contribuições desta Dissertação;

Aos colegas do Núcleo de Tecnologia Assistiva pelo apoio, auxílio e parceria;

Aos amigos pelo suporte, conversas e inspirações;

À equipe de Engenharia de Automação da Arcelor Mittal Tubarão pelo apoio;

À minha mãe, Maria Lúcia Pesente, pelo amor, incentivo e compreensão;

Aos meus familiares pela torcida e compreensão;

À minha namorada, Fabíola Martins Bastos, pelo amor, carinho e apoio nos momentos delicados dessa trajetória.

RESUMO

Este trabalho insere-se na temática da Robótica Socialmente Assistiva e propõe a construção de uma nova versão da plataforma robótica MARIA (*Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*) para crianças com TEA (Transtorno do Espectro Autista). A pesquisa objetivou atender aos futuros usuários finais da NEW-MARIA: o terapeuta e a criança. Para tanto, concentrou-se no desenvolvimento da estrutura robótica (partes estrutural e lúdica), de um controle semi-autônomo baseado em comportamentos, com arquitetura de seleção de ação, da arquitetura de integração com sensores e periféricos externos ao robô, e do controle de mobilidade do robô. Analisaram-se os erros relacionados ao controle de mobilidade do robô, bem como as regras de segurança adotadas para garantir o bem-estar da criança. Além disso, avaliou-se a eficácia da arquitetura de comunicação proposta, por meio do tempo de resposta e da taxa de acertos em relação aos comandos enviados, e dos resultados obtidos através de uma aplicação experimental do controle baseado em comportamento. Quanto à análise da estrutura construída, aplicou-se um questionário estruturado com 36 crianças para avaliar a opinião das mesmas sobre a parte lúdica e possíveis aspectos de melhoria do robô.

Palavras-chave: Robótica Socialmente Assistiva. Controle baseado em comportamentos. Transtorno do Espectro Autista (TEA). Robótica Móvel. Proxêmica.

ABSTRACT

This research is part of the Socially Assistive Robotics theme and proposes the construction of a new version of the robotic platform MARIA (Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics) for children with Autism Spectrum Disorder (ASD). The research aimed to meet the future end users of NEW-MARIA: the therapist and the child. To do so, it focused on the development of the robotic structure (structural and playful parts), a semi-autonomous behavior-based control, action selection architecture, integration architecture with sensors and peripherals external to the robot, and control of the robot. We analyzed the errors related to the robot's mobile control, as well as the safety rules adopted to guarantee the child's well-being. In addition, we evaluated the effectiveness of the proposed communication architecture, by means of the response time and the correctness rate in relation to the commands sent, and the results obtained through an experimental application of behavior-based control. As for the structure analysis, a structured questionnaire was applied with 36 children to evaluate their opinion on the playful part and possible aspects of robot improvement.

Key-words: Socially Assistive Robotics. Behavior-based Control. Autism Spectrum Disorder (ASD). Mobile Robotics. Proxemics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - LABO-1 (à esquerda); Interação LABO-1 e criança com TEA.	31
Figura 2 - Versões de Robota.	32
Figura 3 – KASPAR.....	33
Figura 4 – FACE.....	34
Figura 5 – NÃO.	35
Figura 6 – ZECA.....	36
Figura 7 – Keepon.....	36
Figura 8 – Opportunity.....	47
Figura 9 – Talon.	47
Figura 10 – SpotMini.	48
Figura 11 – Spot.....	49
Figura 12 - <i>Robot farmhands</i>	49
Figura 13 - Empilhadeiras autônomas.....	50
Figura 14 - Robô Kiva.	50
Figura 15 - Robô SR8950.	51
Figura 16 - <i>Care-o-bot 4</i>	52
Figura 17 – Aibo.	52
Figura 18 - Estratégias de controle.	54
Figura 19 - Robô Shakey.....	55
Figura 20 - Arquitetura horizontal.	56

Figura 21 - Arquitetura Reativa.	57
Figura 22 - Robôs reativos: a) expressa medo; b) expressa agressividade.	57
Figura 23 - Robôs reativos: a) expressa afetividade; b) expressa curiosidade.	58
Figura 24 - Proposta de estrutura física para o robô N-MARIA.	64
Figura 25 – Robô N-MARIA.	65
Figura 26 - Saídas de som da N-MARIA.	66
Figura 27 - Chip MPR121.	68
Figura 28 - Sensor de toque conectado ao MPR121.	69
Figura 29 - Sensores de toque da N-MARIA.	70
Figura 30 - Sensor de luz no "coração" da N-MARIA, atuando como sensor de toque.	70
Figura 31 - Sensor de distância a laser RP LIDAR A2.	72
Figura 32 - Sistema de coordenadas utilizado para controle de posição final.	74
Figura 33 - Caminho percorrido com o controle proposto.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis, graus de ativação e responsáveis pela informação	78
Tabela 2 - Configuração dos comportamentos e variáveis relacionadas	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Derivada da função candidata de Lyapunov	75
Gráfico 2 - Sentimento antes de ver o robô.....	84
Gráfico 3 - Sentimento após ver o robô.....	84
Gráfico 4 - Opinião sobre a aparência do robô.....	85
Gráfico 5 - O que mais gostou no robô	85
Gráfico 6 - O que menos gostou no robô	86
Gráfico 7 - Erro angular e sinal de controle do modo de operação “girar”	88
Gráfico 8 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “aproximar”	89
Gráfico 9 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e robô do modo de operação “afastar”	90
Gráfico 10 - Posição do robô e da pessoa durante interação do modo “seguir”	91
Gráfico 11 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “seguir”	91
Gráfico 12 - Erro angular e sinal de controle do modo de operação “seguir”	92
Gráfico 13 - Posição do robô e da pessoa durante interação no modo “seguir”	93
Gráfico 14 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “seguir”	94
Gráfico 15 - Comportamentos e seus momentos de ativação.....	98
Gráfico 16 - Comportamentos executados	98
Gráfico 17 - Variáveis utilizadas para se calcular os níveis de ativação	99
Gráfico 18 - Região social onde a Pessoa(Criança) está, em relação ao Robô.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de robôs para uso em terapia de crianças com TEA.....	38
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABA - *Applied Behavior Analysis*

Aurora - *Autonomous Robotic Platform as a Remedial Tool for Children with Autism*

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DSM-5 - Manual de Diagnóstico e Estatística de Transtornos Mentais

Euron - *European Robotics Research Network*

FACE - *Facial Automaton for Conveying Emotion*

I2C – *Inter-Integrated Circuit*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IHR - Interação Humano-Robô

KASPAR - *Kinesics And Synchronisation in Personal Assistant Robotics*

LED – *Light Emitting Diode*

LIDAR – *Light Detection And Ranging*

MARIA - *Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*

M-CHAT - *Modified Checklist for Autism in Toddlers*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NREC - *National Robotics Engineering Center*

ONU - Organização das Nações Unidas

QUT - *Queensland University of Technology*

ROS – *Robot Operating System*

SLAM – *Simultaneous Localization and Mapping*

TEA - Transtorno do Espectro do Autismo

ZECA - *Zeno Engaging Children with Autism*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Motivação.....	18
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo geral.....	21
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 Justificativa	22
1.4 Estrutura da Dissertação	23
2. ESTADO DA ARTE	24
2.1 Interação Humano-Robô.....	24
2.2 Robótica e Transtorno do Espectro Autista	29
3. EMBASAMENTO TEÓRICO	43
3.1 Proxêmica.....	43
3.2 Robótica Móvel	46
3.3 Arquiteturas de controle para robôs móveis	53
3.3.1 Controle Deliberativo	54
3.3.2 Controle Reativo	56
3.3.3 Controle Híbrido.....	59
3.3.4 Controle Baseado em Comportamento.....	59
4. PLATAFORMA ROBÓTICA	62
4.1 Concepção do robô	62

4.1.1 Aspectos construtivos	63
4.1.2 Funcionalidades.....	65
4.2 Sistema.....	67
4.3 Aquisição de dados e controle	68
4.3.1 Sensores e processamento de dados.....	68
4.3.2 Aplicação Móvel.....	73
4.3.3 Controle baseado em comportamentos	76
5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS	82
5.1 Questionário – Estrutura e aparência física	82
5.1.1 Motivação	82
5.1.2 Metodologia.....	83
5.1.3 Resultados	83
5.2 Aplicação Móvel – Mudança entre modos de operação.....	87
5.2.1 Motivação	87
5.2.2 Metodologia.....	87
5.2.3 Resultados	88
5.3 Controle do Robô Móvel – Segurança e área de interação.....	92
5.3.1 Motivação	92
5.3.2 Metodologia.....	93
5.3.3 Resultados	93
5.4 Tele-operação	95

5.4.1 Motivação	95
5.4.2 Metodologia.....	95
5.4.3 Resultados	95
5.5 Operação semi-autônoma.....	96
5.5.1 Motivação	96
5.5.2 Metodologia.....	96
5.5.3 Resultados	96
6. CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS.....	105

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A ideia da criação de um robô para interação com crianças que apresentam Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) fundamentou-se na constatação de que o número de casos diagnosticados com essa condição neurológica cresce significativamente, de modo global, a cada ano.

De maneira geral, pode-se afirmar que o TEA refere-se a um conjunto de características comportamentais presentes em um indivíduo que teve um desenvolvimento neurobiológico atípico (KIM, et al., 2013). A primeira descrição do Autismo data do final da década de 1930 nos EUA, quando o advogado Beamon Triplett descreveu seu filho, Donald, de quatro anos, ao psiquiatra Leo Kanner do Hospital John Hopkins:

Ele nunca demonstra alegria quando vê o pai ou a mãe. Parece fechado em sua concha e vive dentro de si. [...] Donald raramente vem quando o chamam, tem de ser pego e carregado ou levado aonde deve ir... Parece estar sempre pensando, pensando e pensando. [...] As pessoas parecem desconcertá-lo, mas, com coisas, Donald tinha uma relação sólida e satisfatória (DONVAN; ZUCKER, 2017).

Embora a causa do TEA ainda seja desconhecida, há indícios, não conclusivos, que lançam luz sobre a questão e se referem a aspectos fisiológicos e socioambientais capazes de influenciar sua incidência. Estudos demonstram que o cérebro de um indivíduo com TEA é 10% aumentado comparado ao mesmo órgão de uma pessoa de típico desenvolvimento (HAZLETT, et al., 2011).

Comprovou-se que o cérebro aumentado de crianças com TEA apresenta sinapses desordenadas (excesso ou diminuição) nas regiões do órgão que são responsáveis pelos comportamentos sociais (TANG, et al., 2014). Outras pesquisas, por sua vez, sugerem que aspectos socioambientais influenciam na ocorrência do TEA, a exemplo da idade avançada do pai no ato da concepção, o nascimento prematuro e a exposição à poluição do ar (KONG, et al., 2012; ANSERMET, GIACOBINO, 2013; COUTINHO, BOSSO, 2015). Não obstante esses avanços, ainda é temerário inferir o peso que cada um desses elementos, ou marcadores, têm na incidência das doenças abrangidas pela expressão Transtorno do Espectro Autista.

A designação TEA foi incorporada em 2013 ao Manual de Diagnóstico e Estatística de Transtornos Mentais (DSM-5, 2014). Neste documento, o Transtorno do Espectro Autista abrange o Autismo propriamente dito, a Síndrome de Asperger, a Síndrome de Rett, os Transtornos do Desenvolvimento e o Transtorno Desintegrativo da Infância.

A inclusão recente do TEA no DSM-5 indica que se trata de uma condição neurológica com muito ainda a ser investigado. Por envolver diversos fatores biológicos, como achados clínicos, moleculares e de neuroimagem, o diagnóstico de TEA é tarefa complexa e multidisciplinar para os profissionais da área da saúde (ROSSIGNOL; FRYE, 2012).

Os sintomas do TEA em crianças são diversos, mas, em resumo, se conhece que alterações no funcionamento neurológico geram consequências relativas às habilidades sociais, à linguagem e ao comportamento, podendo acarretar ausência de fala, agressividade e sensações corporais desconfortáveis (KIM, et al., 2013). Abaixo estão listados outros sintomas típicos apresentados por indivíduos com TEA:

- Dificuldade de combinar palavras em sentenças lógicas;
- Dificuldade de alfabetização;
- Dificuldade de interação com outras pessoas, fechando-se em si mesmo;
- Comunicação apenas com pessoas mais próximas;
- Interesse fixo por algum assunto muito específico, variando de intensidade;
- Alinhamento de brinquedos ou objetos de modo repetitivo;
- Assistem a um mesmo filme dezenas de vezes;
- Somente pisam em azulejos de uma cor específica, como se tivessem compulsão obsessiva;
- Sofrem de desordem sensorial, o que lhes impede de desenvolver uma compreensão do mundo mais abrangente.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) cerca de 1% da população mundial apresenta TEA, sendo que o número de pessoas diagnosticado com TEA é quase 10 vezes maior do que o quantitativo de indivíduos com Síndrome de Down. No que diz respeito ao público infantil, estatística recente indica que uma em cada 68 crianças (ONU, 2016) apresenta características típicas do TEA.

No Brasil, os dados sobre indivíduos com TEA são escassos. Sabe-se pelo Censo Demográfico 2000, produzido pelo IBGE, que pelo menos 500.000 brasileiros têm Autismo, o que equivalia naquele ano a 0,29% da população total (IBGE, 2000). Entretanto, a estimativa de crianças com TEA no Brasil é ainda mais alarmante: três milhões. Embora, ainda não haja índices oficiais atuais sobre TEA no país (VALADÃO, et al., 2016).

Comparativamente, o Brasil está alguns passos atrás no diagnóstico de crianças com TEA em relação a outros países. Se nos Estados Unidos bebês com menos de um ano de idade e que apresentam qualquer suspeita de TEA já são inseridos em terapias de estimulação, no caso brasileiro há crianças com quatro, cinco anos de idade ainda sem diagnóstico (PEREIRA, 2016).

O diagnóstico do Autismo propriamente dito é feito por meio de observação clínica e de um teste específico chamado *Modified Checklist for Autism in Toddlers* (M-CHAT)¹, devendo ser utilizado em crianças com idades entre um ano e quatro meses e dois anos e meio.

Por enquanto o TEA é incurável, mas há diversas terapias que possibilitam uma melhora na qualidade de vida e aumento da autonomia dos indivíduos acometidos com TEA (MICHAUD, CLAVET, 2000; SCASSELLATI, et al., 2012). O diagnóstico precoce ainda é o melhor caminho para se garantir a eficiência das terapias em longo prazo e, por isso, pesquisadores de diversas áreas se voltaram para terapias visando o público infantil com TEA (SCASSELLATI, et al., 2012).

Recomenda-se que o tratamento seja multidisciplinar. Constatou-se que os melhores resultados já obtidos são decorrentes das chamadas intervenções comportamentais, também conhecidas como intervenções ABA (*Applied Behavior Analysis* - Análise do Comportamento Aplicada), as quais devem ser aplicadas precocemente, iniciadas a partir dos 18 meses de idade, sendo possível ainda obter resultados satisfatórios se forem introduzidas até os 36 meses de idade (HASTINGS, 2003).

Estudos comprovam que crianças com TEA e submetidas a terapias comportamentais apresentam melhora em suas habilidades sociais (SCASSELLATI,

¹ Tradução livre: "Lista de Verificação Modificada do Autismo em Crianças Pequenas".

et al., 2012). Essas terapias estimulam a criança a interagir com outras pessoas usando várias estratégias, a exemplo de brinquedos e jogos. Tais estímulos concentram-se nas habilidades de sociabilização, isto é, interação e comunicação.

Partindo dessas experiências de sucesso, novas investigações vêm sendo desenvolvidas com o intuito de propiciar estímulos que desencadeiem o desenvolvimento cognitivo de crianças com TEA, a partir do uso de robôs e jogos (CABIBIHAN, et al., 2013; KIM, et al., 2013). O objetivo da interação criança-robô é auxiliar o estabelecimento de vínculos dela com seus respectivos pais, cuidadores e outros profissionais que as assistem (KIM, et al., 2013).

Assim, o uso de robôs com fins terapêuticos mostra que a Robótica assumiu uma posição de destaque na vida contemporânea para além de suas contribuições diretamente relacionadas à produção industrial de bens de consumo. Atualmente, ela tem uma importância social, pois é cada vez mais crescente o desenvolvimento de tecnologias que visam melhorar a qualidade de vida de indivíduos com algum tipo de deficiência, física ou mental (a chamada Robótica Socialmente Assistiva)².

Nesta Dissertação de Mestrado desenvolveu-se criar um robô móvel para interação com crianças diagnosticadas com TEA, com vistas a utilizá-lo como estratégia terapêutica para essas crianças, de forma a estimular suas habilidades cognitivas, comportamentais e sociais.

Ressalta-se que o uso de um robô para essa finalidade (interação das crianças com TEA e robôs) foi avaliada positivamente por outros autores, pois os robôs são mais previsíveis, mais simples e fáceis de entender do que os humanos (DUQUETTE, et al. 2007; ROBINS, et al., 2010).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um robô móvel semi-autônomo com controle baseado em comportamentos capaz de obter e receber comandos do terapeuta, assim como informações do ambiente e da criança para, assim, interagir com ela.

² A definição de Robótica Socialmente Assistiva é trabalhada no segundo capítulo desta dissertação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a aquisição de dados com sensores de maneira integrada com o robô móvel;
- Definir as estratégias de controle para a mobilidade do robô;
- Definir os comportamentos que o robô apresentará;
- Definir gatilhos para mudança de comportamento de forma automática, avaliando também sua viabilidade;
- Implementar estratégias de controle que possibilitem a integração de todo o sistema;
- Criar e construir uma estrutura (partes estrutural e lúdica) para a nova versão do robô N-MARIA – *New Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*³;
- Realizar testes de desempenho e estabilidade do sistema como um todo.

1.3 Justificativa

Robôs de diferentes estruturas físicas (corpo) e com funcionalidades distintas vêm sendo criados com vistas a ajudar crianças com TEA. Algumas características e funcionalidades dos robôs são importantes na interação com esse perfil de usuário. Estudos mostraram que o movimento de um robô ajudou, por exemplo, uma criança com TEA a ter consciência sobre o ambiente à sua volta, inclusive estimulando sua locomoção para ir ao encontro do robô (MICHAUD; CLAVET, 2000).

Além da capacidade de se movimentar, outra característica importante é a autonomia do robô, pois, se ele for controlado remotamente, pode se tornar inviável pensar em aplicações em larga escala. Ademais, um robô autônomo tem ainda a vantagem de poder se comportar de uma forma pré-programada a partir do comportamento da criança (SCASSELLATI, et al., 2012).

³ O desenvolvimento do primeiro robô MARIA, acrônimo para *Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*, iniciou-se em 2013 e objetivava a interação social com crianças com TEA. A partir dos resultados obtidos com MARIA foi possível propor a construção de uma nova versão desse robô com aprimoramentos de cunho sensorial, estético e de funcionalidade. Os aprimoramentos foram planejados e construídos em 2016, e tiveram ajuda de profissionais da área de saúde, como psicólogos e terapeutas, os quais constituem um dos usuários finais do robô. A nova versão, que apresenta muitas modificações, recebeu a alcunha de N-MARIA, com o acréscimo da palavra “New” ao nome do primeiro protótipo.

A partir das características citadas propôs-se a construção e o desenvolvimento de uma nova versão do robô MARIA que fosse capaz de se mover de maneira autônoma, se comunicar com a criança por meio da fala, obter informações da criança como contato físico e expressões faciais, para, assim, possibilitar uma melhor interação.

Para tanto, foi necessário fazer com que a N-MARIA conseguisse detectar a que distância a criança se encontra da mesma, a fim de estabelecer estratégias de controle para uma aproximação segura (em termos físicos e sensoriais – de Proxêmica⁴) e estipular possíveis brincadeiras e outras formas de interação.

1.4 Estrutura da Dissertação

Capítulo 1: Introdução, motivação, objetivo e justificativa.

Capítulo 2: Estado da arte do campo de pesquisa “Interação Humano-Robô” e apresentação das pesquisas na área de Robótica Socialmente Assistiva para terapia de crianças com TEA.

Capítulo 3: Embasamento teórico dos conceitos que nortearam a construção da estrutura lúdica do robô, dos tipos de controles autônomos existentes, arquiteturas usadas no controle baseado em comportamento, e da importância da compreensão dinâmica que o ser humano tem dos espaços e do ambiente em que está inserido.

Capítulo 4: Detalhamento de todo o *hardware* sensorial utilizado, implementação dos controles e a arquitetura utilizada para atendimento das especificidades do projeto, além de alguns detalhes do processo de concepção do robô como um todo.

Capítulo 5: Detalhamento dos testes realizados e respectivos resultados.

Capítulo 6: Conclusões deste trabalho e perspectiva de pesquisas futuras.

Referências.

⁴ O conceito Proxêmica é apresentado na seção 3.1 deste trabalho.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Interação Humano-Robô

A Interação Humano-Robô (IHR) é considerada um campo de pesquisa dedicado a projetar, compreender e avaliar sistemas robóticos para utilização com e/ou por humanos (GOODRICH; SCHULTZ, 2007). A IHR Estuda o comportamento e as atitudes das pessoas em relação a robôs, no que concerne às suas respectivas características físicas, tecnológicas e possibilidades interativas (DAUTENHAHN, 2013). A interação (com as pessoas) é o ingrediente central da IHR, e abrange as comunicações verbais e não verbais (DAUTENHAHN, 2007).

A IHR constitui-se uma área altamente interdisciplinar marcada pela interseção de pesquisas que envolvem Robótica, Engenharia, Informática, Psicologia, Linguística, Ciência Cognitiva, Etologia, entre outras (DAUTENHAHN, 2007). Entretanto, essa interdisciplinaridade, pressuposto indispensável para se pensar uma IHR efetiva, pode, por outro lado, apresentar como dificuldade o desenvolvimento de investigações significativas, síntese de teorias e transferência de tecnologia. Esse perigo deriva da pluralidade de vocabulários, experimentos, metodologias e métricas utilizadas por essa comunidade científica (BURKE, et al., 2004).

A trajetória da IHR como um campo de pesquisa remonta aos anos 1990⁵, quando ocorreram avanços significativos na tecnologia da Robótica Autônoma, com trabalhos sobre robôs baseados em comportamentos (BROOKS, 1986; ARKIN, 1998) e o desenvolvimento de arquiteturas de controle híbridas (GOODRICH;

⁵ O “nascimento” da IHR foi marcado pela realização de eventos científicos emblemáticos (e que perduram até hoje), como a) *IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication (RoMan)*, cuja primeira edição ocorreu em 1992, e é um simpósio de referência na atualidade; b) *International Conference on Humanoid Robots*, criada em 2000 pela *IEEE/Robotics Society of Japan*, com destaque para os robôs antropomórficos; c) *Robot Project at EXPO 2005*, promovida pela *The Japan Association for the 2005 World Exposition*, com a apresentação de robôs de serviço e assistivos. Outra grande influência para a ascensão da IHR como um campo investigativo foram as competições robóticas cujas expoentes de maior impacto (considerada pela literatura da área) são a *AAAI Robotics Competition and exhibition* e a *Robocup Search and Rescue Competition* (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

SCHULTZ, 2007). As pesquisas daquela década focaram na mobilidade dos robôs. Os estudos dos anos 2000 em diante dedicaram-se, por sua vez, ao desenvolvimento de robôs com comportamentos antropomórficos mais realistas, socialmente aceitos e esperados, e com aparência física antropomórfica, os chamados humanoides (AMBROSE, et al., 2000; YAMAOKA, et al., 2005; PACCHIEROTTI, CHRISTENSEN, JENSFELT, 2006). Autores de referência em IHR consideram que as pesquisas realizadas em Robótica Assistiva, de Resgate e de Exploração Espacial impulsionaram, juntas, a consolidação da Interação Humano-Robô como um campo científico (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

O objetivo primário da IHR é desenvolver robôs cujos contatos com as pessoas sejam eficientes (segundo os critérios estabelecidos por suas arquiteturas de controle e sistemas) e também aceitáveis (consoante os comportamentos/convenções/valores sociais e as necessidades sociais e emocionais dos usuários humanos) (DAUTENHAHN, 2013). “Navegar pelo mundo” pode ser considerada a tarefa mais básica, e uma das mais complexas a ser executada por um robô, porquanto é exigido que ele “entenda o mundo humano” e seja capaz de se comunicar de maneira engajadora (REIS-ALVES, 2016).

Essa interação depende do nível de comunicação existente entre humanos e robôs, que é, por sua vez, influenciado pela proximidade (ou distância) entre eles e determinante para a escolha de critérios de interação social (como aspectos cognitivos e emocionais) e da mobilidade do robô (por exemplo, a utilização de uma navegação socialmente consciente). Nesse sentido, a IHR pode ser classificada em duas categorias macro: interação remota e interação próxima (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

A incorporação de fatores sociais na concepção de um robô (comportamentos, convenções e, em última análise, traços culturais de determinado grupo ou povo) é requisito indispensável para a IHR. Para desenvolver robôs com capacidade de se locomoverem com desenvoltura estando próximos às pessoas é necessário compreender certas “pistas sociais” (*social cues*), isto é, um conjunto de mensagens verbais e não verbais que orientam as interações sociais: expressões faciais, postura corporal, proximidade, atividades neuromusculares e fisiológicas (RIOS-MARTINEZ; SPALANZANI; LAUGIER, 2015).

As pesquisas sobre “pistas sociais” com foco na interação humana com robôs móveis visam o conforto humano (durante a IHR) e sua segurança. Esses estudos possibilitaram o surgimento de um nicho investigativo (em pleno desenvolvimento) alcunhado de diversas denominações: navegação socialmente aceitável; navegação com consciência, navegação humana, amigável; e navegação legível para humanos (ANDA, 2017).

Nessa perspectiva, a interação, caracterizada pelo “[...] processo de trabalhar junto para atingir um objetivo [...]”, emerge da confluência de cinco atributos que afetam essa “relação” entre humanos e robôs: configuração da tarefa, autonomia, comunicação, estrutura da equipe e adaptação e aprendizagem (das pessoas e do robô que interagem entre si) (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

A configuração da tarefa de um robô é um atributo que destaca a importância de se considerar os objetivos da atividade a ser desempenhada, o modo como ela deverá ser executada, os equipamentos necessários e as limitações do robô. No caso da Robótica Móvel⁶, há uma série de aplicações possíveis: reabilitação de pessoas com restrições de movimentos, cuidado e/ou companhia de idosos, estratégia terapêutica e entretenimento (DAUTENHAHN, 2013). Há, ainda, os robôs de serviço cujo objetivo é “[...] incrementar a produtividade e a qualidade das operações” (ANDA, 2017, p. 1), a exemplo dos robôs agrícolas, outros utilizados como bombeiros, cirurgias de hospitais e empilhadeiras autônomas. Para quaisquer desses exemplos é importante que o robô apresente certo grau de “consciência social” durante as interações com as pessoas (ANDA, 2017).

Definida a natureza e a configuração da tarefa a ser desempenhada pelo robô, passa-se, então, ao segundo atributo que influencia o nível da IHR: a autonomia. Esta é caracterizada pelo grau de intervenção humana no sistema robótico e é implementada por meio da utilização de técnicas de Teoria de Controle, Inteligência Artificial, Processamento de Sinais, Ciência Cognitiva e Linguística. Vai desde um controle total do sistema até uma autonomia dinâmica (em escala crescente: robô totalmente teleoperado, teleoperação mediada, controle de supervisão, controle colaborativo e colaboração par a par – P2P) (GOODRICH; SCHULTZ, 2007).

⁶ Conferir subseção sobre “robôs móveis” no Capítulo 3.

A comunicação, por seu turno, diz respeito ao fluxo de informações trocadas entre a equipe (humanos e robô em interação) e se baseia em interfaces homem-máquina e outras mais sutis baseadas nas linguagens verbais e não verbais dos humanos (olhar social, atenção compartilhada, Proxêmica, cinestésica, música, entre outras) (GOODRICH, SCHULTZ, 2007; QUINDERÉ, 2013; REIS-ALVES, 2016).

A estrutura da equipe indica quem são os agentes que atuarão conjuntamente numa IHR (quantitativo de pessoas e robôs) e a hierarquia entre eles (relações de liderança com definição de atribuições e níveis de dependência entre os membros da equipe) (GOODRICH, SCHULTZ, 2007; REIS-ALVES, 2016), sendo que a distribuição de tarefas relaciona-se ao atributo de adaptação e aprendizagem. Estas indicam a capacidade de o “[...] robô se adaptar automaticamente à tarefa ou ao ambiente modificando suas estruturas de dados internas” (REIS-ALVES, 2016, p. 40), por meio de aprendizado por reforço ou supervisionado, por demonstração, por intermédio das características do usuário ou por observação da atenção compartilhada (REIS-ALVES, 2016).

Esta pesquisa de Mestrado responde aos seguintes atributos:

Configuração da tarefa: voltada para a área da saúde, especificamente a Robótica Socialmente Assistiva, como possibilidade terapêutica de crianças com “Transtorno do Espectro Autista” (TEA), no que diz respeito à aquisição de habilidades sociais e cognitivas.

Autonomia: uma interface móvel capaz de operar sem dependência da influência do terapeuta, sendo facultado, porém, a esse profissional, qualquer intervenção que, porventura, julgar necessária, caracterizando uma operação semi-autônoma;

Comunicação: para viabilizar a estrutura da equipe acima discriminada, a interface humano-robô utiliza linguagens não verbais como o toque e a Proxêmica.

Estrutura da equipe: o sistema robótico proposto interagirá com duas pessoas, o terapeuta e a criança, sendo que: o primeiro ocupará a função de supervisor da interação criança-robô e poderá teleoperar alguns comandos do robô conforme sua avaliação de necessidade; a criança, por sua vez, interagirá diretamente com o robô e, em segundo plano, com o terapeuta.

É importante esclarecer que as pesquisas desenvolvidas na área da Robótica e, especialmente, na IHR, devem seguir princípios éticos desde a concepção até o

funcionamento do robô. Essas diretrizes vêm sendo discutidas pelas instituições competentes e começaram a ser divulgadas a partir de meados dos anos 2000. A Euron (*European Robotics Research Network*), o comitê técnico para ética robótica da IEEE *Robotics and Automation Society* e a *Open Roboethics*, por exemplo, enviamos empenhos para desenvolver a chamada “Roboethics” (REIS-ALVES, 2016).

Nesta pesquisa de Mestrado foram observadas as diretrizes éticas propostas por Alan Winfield na *4th EUCogIII Members Conference* (2013) e reproduzidas por Reis-Alves (2016), compostas por cinco leis:

- Robôs são ferramentas multiuso. Robôs não devem ser projetados somente ou primariamente para matar ou ferir humanos, exceto quando de interesse para a segurança nacional.
- Humanos, não os robôs, são agentes responsáveis. Os robôs devem ser projetados e operados na medida do possível para obedecer às leis existentes, liberdades e direitos fundamentais, incluindo a privacidade.
- Robôs são produtos. Eles devem ser projetados usando processos que garantam que sejam confiáveis e seguros.
- Robôs são artefatos manufaturados. Eles não devem ser projetados de forma fraudulenta para explorar usuários vulneráveis; ao contrário, sua natureza mecânica deve ser transparente.
- Deve ser atribuída a uma pessoa a responsabilidade legal por um robô (REIS-ALVES, 2016, p. 37-28).

É preciso que a arquitetura de controle de um sistema robótico obedeça a esses princípios éticos, porquanto é ela quem possibilita a um robô utilizar ou não sua capacidade mecânica para infligir danos a humanos (REIS-ALVES, 2016).

Além das discussões em torno de uma “*Roboethics*”, há um movimento também interno à IHR que vem se dedicando a medi-la. Uma expoente disso chama-se Nicole Robinson, pesquisadora da *Queensland University of Technology* (QUT), Austrália, cujo estudo pretende criar uma escala psicométrica para IHR. Seu objetivo é investigar qual vínculo ou conexão se estabelece, ou não, entre humano e robô.

As escalas já existentes, em número limitado, concentram-se em medir a confiança do humano em relação a um robô (Escala de Percepção de Confiança-HRI) (SCHAEFER, 2013) e as avaliações de humanos sobre o comportamento de um robô (Atitudes Negativas para a Escala de Robô) (SYRDAL, et al., 2009). O escopo dessas escalas é medir a IHR a fim de identificar possíveis melhorias para o robô, de modo a torná-lo mais aceitável, funcional e incorporado às convenções sociais partilhadas pelos humanos.

2.2 Robótica e Transtorno do Espectro Autista

No campo da IHR, a Robótica é classificada em três grandes áreas de atuação: Assistiva, Socialmente Interativa e Socialmente Assistiva (FEIL-SEIFER; MATARÍC, 2005). A primeira diz respeito aos robôs que provêm assistência às pessoas com alguma deficiência física, possibilitando-lhes maior independência (por exemplo, robôs de reabilitação, cadeira de rodas robótica, robô de companhia, braços robóticos e robôs educativos) (FEIL-SEIFER, MATARÍC, 2005; GOODRICH, SCHULTZ, 2007).

A Robótica Socialmente Interativa abrange os robôs cuja tarefa principal compreende alguma forma de interação social com o usuário humano (DAUTENHAHN, 2013; FEIL-SEIFER, MATARÍC, 2005). A Socialmente Assistiva, por seu turno, surgiu da interseção entre as duas primeiras áreas, e objetiva desenvolver robôs que prestem assistência ao usuário humano, com ênfase na interação social (FEIL-SEIFER, MATARÍC, 2011; SCASSELLATI, ADMONI, MATARIC, 2012).

Além do auxílio ao usuário humano, a Robótica Socialmente Assistiva pode desempenhar funções de treinamento, motivação e influenciar mudanças de comportamento social (SCASSELLATI; ADMONI; MATARIC, 2012). Configura-se como uma área interdisciplinar que contempla conhecimentos da Robótica propriamente dita e também da Psicologia, Fisiologia, Sociologia, entre outras disciplinas.

A Robótica Socialmente Assistiva mostrou-se uma área potencialmente relevante para o auxílio ao diagnóstico para terapias de crianças com algum tipo de Transtorno do Espectro Autista (TEA) (SCASSELLATI; ADMONI; MATARIC, 2012). A sigla TEA compreende uma classe de condições neurodesenvolvimentais que abrange “[...] comprometimentos qualitativos no desenvolvimento sociocomunicativo, bem como a presença de comportamentos estereotipados e de um repertório restrito de interesses e atividades” (ZANON, BACKES, BOSA, 2014, p. 25; PEREIRA, et al., 2015; SCASSELLATI, ADMONI, MATARIC, 2012).

De acordo com a *American Psychiatric Association* (2013), as dificuldades de desenvolvimento características do TEA incluem redução da vocalização, da reciprocidade social, de manifestações de emoções por expressões faciais, de

contato visual e dificuldade de reconhecer linguagem corporal (SHORT, et al., 2017). A principal função de um robô socialmente assistivo na terapia de crianças com TEA é permitir e incentivar o desenvolvimento de suas habilidades sociais e incentivá-las a iniciar e manter interação com indivíduos de seus círculos sociais (pais, cuidadores, terapeutas, irmãos, entre outros) (FEIL-SEIFER, MATARIC, 2011; SCASSELLATI, ADMONI, MATARIC, 2012).

Estudos mostram que muitas das crianças com TEA submetidas à interação com robôs apresentaram comportamentos sociais inovadores e melhor engajamento nas atividades desenvolvidas durante as sessões com o robô e o terapeuta (GOODRICH, SCHULTZ, 2007; WONG, ZHONG, 2016). Atribui-se esse êxito ao fato de os robôs promoverem novos estímulos sociais nas crianças, serem mais previsíveis e fáceis de compreender do que uma pessoa, e poderem ser personalizados conforme as especificidades terapêuticas do usuário (DUQUETTE; MICHAUD; MERCIER, 2007).

Utilizado como estratégia terapêutica e educacional para crianças com TEA, o robô pode atuar como um professor (papel de autoridade), como um brinquedo (papel de mediador dos comportamentos manifestados pelo usuário), ou como um “proxy” (permitindo ao usuário expressar suas emoções) (SCASSELLATI; ADMONI; MATARIC, 2012).

No início da interação da criança com o robô a primeira característica dele que chama a atenção é sua constituição física, isto é, o corpo do sistema robótico, sendo que a aparência constitui um critério importante para a análise da IHR (SCASSELLATI; ADMONI; MATARIC, 2012; SHORT, et al., 2017). O robô pode apresentar muitos níveis de antropomorfismo (humanoide), se parecer com animais, desenhos animados (*toy-like*) ou com máquinas não-biomiméticas (sem referência a qualquer ser vivo) (SCASSELLATI; ADMONI; MATARIC, 2012).

A seguir apresentam-se alguns exemplos dos robôs socialmente assistivos mais conhecidos e cujas pesquisas científicas reúnem resultados consolidados. Ao final

do capítulo são listados em um quadro outros sistemas robóticos para aplicação em diagnóstico e terapias de crianças com TEA⁷.

Considera-se o **projeto AuRoRA** (*AUtonomous RObotic platform as a Remedial tool for children with Autism*), iniciado em 1998, o primeiro estudo sistemático na área de Robótica Socialmente Assistiva (DAUTENHAHN, 1999) com enfoque no TEA⁸. O objetivo do projeto foi construir robôs móveis, semelhantes a brinquedos, para estimular o desenvolvimento de comportamentos sociais, tais como: contato visual, atenção compartilhada e imitação (DAUTENHAHN; WERRY, 2004). A expectativa dos pesquisadores era que, em longo prazo, esses sistemas robóticos pudessem ser utilizados por professores, cuidadores e pais de crianças com TEA.

Os robôs mais citados do **projeto AuRoRa** pela literatura especializada são: a plataforma móvel LABO-1, a boneca humanoide Robota e o humanoide (semelhante a uma criança) KASPAR. O **LABO-1** é uma plataforma móvel não-biomimética e constitui-se por uma estrutura plana e baixa, oito sensores infravermelhos apontados para quatro direções diferentes (para fins de localização no ambiente e desvio de obstáculos), um sensor que permite seguir o usuário, um sensor térmico e um dispositivo de produção de voz que reproduz palavras simples em situações específicas (DAUTENHAHN, 1999).

Figura 1 - LABO-1 (à esquerda); Interação LABO-1 e criança com TEA.



Fonte: DAUTENHAHN, 1999; DAUTENHAHN, WERRY, 2004.

⁷ Uma revisão da literatura sobre a variedade de robôs socialmente assistivos já produzidos para interação com crianças com TEA pode ser consultada nos trabalhos de: PIOGGIA, et al., 2008; SCASELLATI, ADMONI, MATARIC, 2012; COSTA, 2014; GOULART, 2015.

⁸ Informações detalhadas sobre o projeto AuRoRa estão disponíveis em: <http://aurora.herts.ac.uk>

O objetivo do LABO-1 é que a criança seja capaz de descobrir e desenvolver suas próprias capacidades de interação sem que isso lhe seja explicitamente ensinado (SILVA, 2012). A mobilidade desse robô possibilita que a criança interaja com ele livremente, seguindo-o (DAUTENHAHN, 1999; DAUTENHAHN, WERRY, 2004).

Os resultados do uso do LABO-1 demonstraram mais envolvimento da criança com o robô do que com um objeto inanimado, além de melhora nos comportamentos sociais da criança nos quesitos de contato visual e toque. A principal limitação constatada foi a das possibilidades de interação com a criança, restritas a aproximação/afastamento, e a jogos em que se exigia da criança o desenvolvimento da habilidade “esperar a vez” (*turn-taking*) (DAUTENHAHN; WERRY, 2004).

A **Robota**, construída por Aude Billard (DAUTENHAHN, BILLARD, 2002; BILLARD, 2003; BILLARD, et al., 2007), é uma boneca humanoide com 45 cm de altura, corpo principal com placas eletrônicas e motores que movimentam seus braços, pernas e cabeça com um grau de movimento cada um. Estas partes são de plástico, oriundas de bonecas comercializadas.

A Robota pode apresentar diferentes características étnicas (afroamericana, caucasiana, hispânica, etc.) (BILLARD, 2003). Pode, ainda, ser conectada a vários sensores, como detectores de luz e infravermelhos e possui sistemas de síntese de fala e de processamento de vídeo (para jogos de imitação de movimentos) (ROBINS, et al., 2004a).

Figura 2 - Versões de Robota.



Fonte: BILLARD, 2003.

A concepção da Robota objetivou inquirir sobre a influência da aparência física humanoide do robô na interação com a criança, analisar comportamentos sociais estimulados durante as sessões (olhar, toque e imitação) e o desenvolvimento da atenção compartilhada (ROBINS, et al., 2004a; IACONO, et al., 2011). Os testes mostraram que Robota estimulou o comportamento imitativo das crianças e que, após se sentirem familiarizadas com a humanoide, elas permitiram incluir outros indivíduos na interação durante as sessões, em contato entre si e partilhando as experiências (IACONO, et al., 2011; ROBINS, et al., 2004b).

O projeto AuRoRA desenvolveu outro robô humanoide para interação com crianças com TEA, o **KASPAR** (*Kinesics And Synchronisation in Personal Assistant Robotics*). Este robô, cuja primeira versão foi construída em 2005, tem o tamanho aproximado de uma criança (60 cm de altura), não é móvel, e conta com oito graus de movimento na cabeça e no pescoço, seis nos braços e mãos e um no tronco. A face é feita de uma máscara de borracha de silicone colocada sobre uma superfície de alumínio. Seus olhos têm dois graus de movimento com câmera, e sua boca executa movimentos de abrir e sorrir⁹ (COSTA, 2014).

Figura 3 – KASPAR.



Fonte: *The AuRoRA Project*, 2018.

O KASPAR tem capacidade de expressar emoções básicas: alegria, indiferença, tristeza e surpresa. Foi desenvolvido para realizar atividades de jogos de imitação,

⁹ Informações detalhadas sobre KASPAR e suas aplicações estão disponíveis em: <http://www.herts.ac.uk/kaspar>

turn taking e exploração cinestésica (ROBINS, et al., 2010). Esse robô é utilizado como mediador social, incentivando a interação das crianças com TEA com outras crianças e adultos, e também para estimular a descoberta e o desenvolvimento do toque físico (ROBINS, et al., 2010). O toque constitui elemento imprescindível no desenvolvimento social do ser humano. De fato, a privação de contato físico na primeira infância pode acarretar sérias consequências para a vida de uma criança, como atraso de fala, deficiências de aprendizado e problemas emocionais na fase adulta (COSTA, 2014).

Outro exemplo de robô humanoide chama-se **FACE** (*Facial Automaton for Conveying Emotion*), o qual foi projetado para permitir que crianças com TEA aprendam, interpretem e usem informação emocional durante uma interação social (PIOGGIA, et al., 2008).

Figura 4 – FACE.



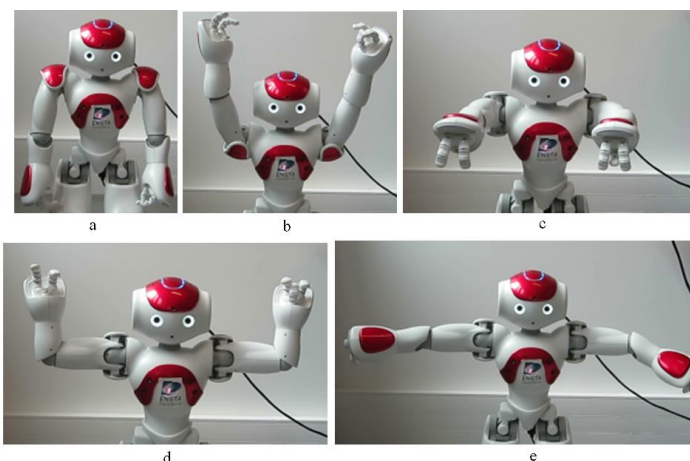
Fonte: PIOGGIA, et al., 2008.

A interação com FACE baseia-se na aprendizagem e no reconhecimento de emoções imitando as expressões faciais e os comportamentos manifestados pelo robô. As expressões faciais analisadas durante a interação criança-FACE são: felicidade, raiva, tristeza, nojo, medo e surpresa (COSTA, 2014).

Há, ainda, robôs humanóides comerciais, como NAO e ZEKA (*Zeno Engaging Children with Autism*). O primeiro foi concebido pela empresa francesa Aldebaran

Robotics®¹⁰, tem 57 cm de altura, 4,5 kg, e é equipado com duas câmeras e sistema de reconhecimento de voz. Apresenta 25 graus de movimento da cabeça aos pés, e cada articulação é equipada com sensor de posição. A câmera principal e quatro microfones localizam-se na cabeça do robô (ISMAIL, et al., 2012).

Figura 5 – NAO.



Fonte: CHEVALIER, et al., 2017.

NAO é utilizado em instituições de pesquisa para variadas aplicações de terapia do TEA, a exemplo das pesquisas que trabalham imitação de movimentos (LI, JIA, FENG, 2016; CHEVALIER, et al., 2017) e musicoterapia (SUZUKI; LEE, 2016). Este último trabalho analisa o desenvolvimento de comportamentos pró-sociais (proximidade, contato físico e atendimento de instruções).

O robô **ZECA**, por sua vez, é produzido pela *Hanson Robotics* e considerado mais expressivo facialmente do que KASPAR, porém, menos realista do que FACE. Mede 63 cm de altura e pesa 6,5 kg. Seu corpo apresenta 25 graus de movimento, e a face e o pescoço têm a “pele” constituída por silicone com 11 graus de movimento que propiciam uma atuação mecânica mais próxima à dos músculos humanos e há uma câmera HD em cada um dos olhos e dois microfones (SALVADOR; SILVER; MAHOOR, 2015).

¹⁰ Informações sobre NAO estão disponíveis em “ASK NAO: New way of teaching. New way of teaching”: <<https://asknao.aldebaran.com/>>.

Figura 6 – ZECA.



Fonte: SALVADOR; SILVER; MAHOOR, 2015.

ZECA é utilizado para estimular contato visual, atenção compartilhada, imitação e reconhecimento de emoções. Resultados preliminares desse estudo mostraram diferenças estatísticas relacionadas ao contato visual e comportamentos de imitação de expressão facial das crianças estimulados pelo robô (PALESTRA; ESPOSITO; DE CAROLIS, 2017).

Um exemplar de robô não-antropomórfico, por sua vez, chama-se **Keepon**. Sua aparência física lembra a de um animal. Ele é fixo e revestido com material de silicone, tem dois olhos com câmeras e amplitude de 120°, e um microfone no “nariz”. Seu corpo é maleável e flexível, deformável pelo toque, e tem quatro graus de movimento.

Figura 7 – Keepon.



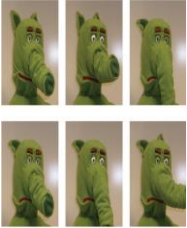
Fonte: KOZIMA, et al., 2009.

Esses graus de movimento relacionam-se a dois modos de atuação: atenção e emoção. No primeiro, é capaz de mover a cabeça para cima e para baixo (direcionamento do olhar), e no segundo expressa emoções com o movimento do corpo (dançar e balançar) (PIOGGIA, et al., 2008).

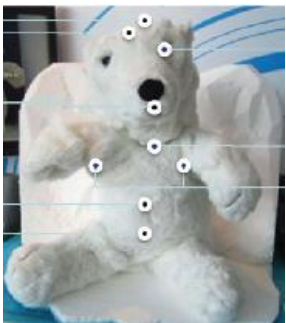
As pesquisas que utilizam Keepon para interação com crianças com TEA indicam que os usuários trataram o robô como um intermediário social, possibilitando um aumento das interações das crianças com seus pares, cuidadores e terapeuta (KOZIMA; MICHALOWSKI; NAKAGAWA, 2009).

Quadro 1 - Exemplos de robôs para uso em terapia de crianças com TEA

ROBÔ	PESQUISA	CARACTERÍSTICAS	OBJETIVOS
 Auti	ANDREAE, et al., 2014 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Aparência semelhante a um animal peludo; móvel; sensores de som e movimento.	Incentivar crianças a interagir fisicamente e verbalmente.
 CHARLIE	BOCCANFUSO, 2013 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Apresenta cabeça e dois braços com dois graus de movimento cada um; câmera na face e detecção de toque.	Jogos interativos para crianças de modo a desenvolver sua autonomia.
 Bandit	FEIL-SEIFER, MATARIĆ, 2011 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Parte superior do tronco humanoide; base móvel e braços móveis e face expressiva.	Distinguir as reações positivas e negativas das crianças durante a interação para alterar o comportamento do robô em tempo real.

 Troy	GOODRICH, et al., 2012 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Tronco fixo; “cabeça” é uma tela de computador que manifesta expressões faciais de felicidade, tristeza e neutralidade.	Identificar como as crianças interpretam o robô (qual o papel dele durante a interação). .
 GIPY-1	PRADEL, et al., 2010 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Robô móvel cilíndrico; rosto simples.	Analisar a interação criança-robô durante uma brincadeira previsível.
 Probo	VANDERBORGHT, et al., 2012 (<i>apud</i> COSTA, 2014)	Aparência de animal; capaz de manifestar expressões faciais de emoções básicas.	Papel social; assiste ao terapeuta durante sessões com crianças. .

 PLEO	SHARMA, et al., 2016	Aparência física de um dinossauro; expressa emoções e atenção usando movimentos corporais e vocalização facilmente reconhecíveis pelas pessoas; os movimentos podem ser sincronizados com comando verbal para expressar interesse/desinteresse, desapontamento, felicidade, anuência e discordância.	Estimular o reconhecimento de emoções e comportamentos sociais.
 Paro	COSTA, 2014; SHARMA, et al., 2016	Aparência física de uma foca bebê; revestido de pelúcia; sensores de toque.	Interação afetiva; ensinar diferentes emoções (humores) para crianças.
 Roball	MICHAUD; THÉBERGE-TURMEL, 2002	Formato esférico (como uma bola); capaz de navegar em todo tipo de ambiente sem ficar preso em algum lugar ou cair de lado; interação por meio de mensagem por voz e por padrões de movimento como girar, tremer ou empurrar.	Estimular contato físico e atenção compartilhada nas crianças.

 C-Pac	MICHAUD; THÉBERGE-TURMEL, 2002	Robusto; braços e rabo removíveis (que se tornam brinquedos quando desconectados do robô); as partes removíveis usam conectores que tem diferentes formatos geométricos. Quando corretamente encaixados o robô agradece a criança e gira em torno de si próprio. Dança; mexe boca; olhos feitos de LEDs, sensores infravermelho e piroelétrico para ficar próximo à criança.	Interação social com as crianças; estimular toque físico e atenção compartilhada.
 Bobus	MICHAUD; THÉBERGE-TURMEL, 2002	Extremamente robusto; detecta a presença da criança utilizando sensores piroelétricos; toca música; faz movimentos simples; demanda à criança para tocá-lo; LEDs em torno do “pescoço”; tem um pequeno ventilador na parte superior da estrutura para movimentação da cabeça; apresenta diferentes texturas.	Estimular comportamentos pró-sociais, como proximidade e toque físico.
 CuDDler	WONG; ZHONG, 2016	Parecido com um urso polar; Quatro sensores: microfone, microfone de contato, sensores de comportamento (posturas) e toque.	Ferramenta assistiva e educacional para crianças com TEA Permite várias atividades para serem ensinadas à criança. Reconhece ações humanas de emoção verbal e não verbal

 Jumbo	MICHAUD; THÉBERGE-TURMEL, 2002	Aparência de um elefante; móvel; sensores piroelétrico e infravermelho; programado para se mover em direção à criança e parar a uma distância de 20 cm dela.	Interação social com crianças com TEA.
 ONO	VANDEVELDE. et al., 2013.	Robô social desenvolvido para crianças. O revestimento da estrutura física de ONO é de um tecido macio para atender a uma dupla finalidade: aparência convidativa para a criança e proteção dos componentes internos do robô. Sua aparência lembra um animal; A cabeça de ONO é desproporcionalmente maior do que o restante do corpo a fim de destacar as expressões faciais. Ele é um robô fixo (posição sentada). Sua face tem 13 graus de movimento (DOF), permitindo que ele manifeste expressões faciais e de olhares.	Interação com crianças com TEA; Reconhecimento de emoções expressas por ONO; Jogos de imitação para reconhecimento de emoções, como felicidade, raiva, tristeza e surpresa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Proxêmica

Esta pesquisa de Mestrado entende que para uma IHR ser efetiva e bem sucedida é necessário que o robô seja concebido segundo critérios de segurança e convenções sociais. Estas últimas apresentam grande relevância quando se trata especialmente de robôs móveis: a sensação de segurança a ser transmitida por um sistema robótico perpassa o reconhecimento das expectativas sociais humanas por meio da observação de suas pistas sociais (*social cues*).

As pistas sociais podem ser entendidas como indícios que os humanos emitem (e recebem) a todo o momento enquanto se relacionam uns com os outros. Essas mensagens (expressões faciais, postura corporal, proximidade/distância, atividades fisiológicas e neuromusculares, entre outras) constituem elementos da comunicação não verbal e, segundo alguns estudos, orientam as interações sociais e representam mais de 60% da comunicação entre duas pessoas ou entre um orador e um grupo de ouvintes (RIOS-MARTINEZ; SPALANZANI; LAUGIER, 2015).

Partindo do pressuposto de que o ser humano é interlocutor com seu ambiente, torna-se necessário aprender a interpretar essas comunicações silenciosas (HALL, 2005). Uma das formas de comunicação não verbal mais utilizada pelas pessoas são as distâncias, que resultam de mudanças sensoriais (provocadas nos cinco sentidos do corpo humano).

De acordo com Edward Hall, os indivíduos organizam-se em torno de quatro espaços básicos (e suas respectivas distâncias que são utilizadas em relação às outras pessoas): íntima, pessoal, social e pública (HALL, 2005). Ao estudo do espaço social e pessoal e à compreensão que o humano tem do ambiente deu-se o nome Proxêmica. A seguir apresenta-se uma síntese da definição de cada distância (em termos qualitativos e quantitativos – fase próxima e remota), homônimas aos quatro espaços, conforme proposto por Hall (2005):

- Distância íntima: “[...] a presença da outra pessoa é inconfundível [...] em razão do enorme acúmulo de estímulos sensoriais” (HALL, 2005, p. 145-147). Alcance máximo: de 15 a 45cm.
- Distância pessoal: designa “[...] a distância que separa constantemente os membros de espécies avessas ao contato. Poderia ser concebida como uma pequena esfera ou bolha de proteção que um organismo mantém entre si mesmo e os outros” (HALL, 2005, p. 148-149). Alcance mínimo: de 45 a 75 cm; máximo: de 75 a 120 cm.
- Distância social: “não se percebem detalhes visuais íntimos no rosto e ninguém toca ou espera tocar outra pessoa a menos que seja feito algum esforço” (HALL, 2005, p. 150-152). Alcance mínimo: de 1,20 a 2,10 m; máximo: de 2,10 a 3,60 m.
- Distância pública: “[...] fica bem fora do círculo de envolvimento. [...] O ângulo de visão mais nítido (um grau) cobre o rosto inteiro. Pequenos detalhes da pele e dos olhos não são mais visíveis” (HALL, 2005, p. 153-155). Alcance mínimo: de 3,60 a 7,50 m; máximo: a partir de 7,50 m.

Estudos comportamentais sobre várias espécies de animais, incluindo o ser humano, indicam que a manifestação da territorialidade é um comportamento típico da natureza animal. No caso das pessoas, essa delimitação de territórios, ou fixação de limites de aproximação, é feita quase sempre por meio do uso dos cinco sentidos para distinguir entre um espaço/uma distância de um indivíduo em relação a outra pessoa (HALL, 2005).

A análise da Proxêmica dos humanos vai além de critérios psicológicos. Evidências neurocientíficas mostram que a amígdala pode atuar na regulação das distâncias interpessoais ao desencadear reações emocionais intensas quando, por exemplo, ocorre uma violação do espaço pessoal (RIOS-MARTINEZ; SPALANZANI; LAUGIER, 2015).

Muitas pesquisas na área de Robótica utilizam as quatro distâncias propostas pela Proxêmica em sistemas robóticos inteligentes, a fim de que eles possam responder a critérios de distância e orientação para se adaptar aos humanos

(OOSTERHOUT, VISSER, 2008; WALTERS, 2011; MUMM, MUTLU, 2011; RIOS-MARTINEZ, SPALANZANI, LAUGIER, 2014; MEAD, MATARIC, 2017).

No campo da Robótica Socialmente Assistiva, a Proxêmica está sendo incorporada para avaliar modos distintos de interação (NARAYANAN, et al., 2015; ANDA, 2017), considerando que há pessoas que apresentam restrições com seus respectivos espaços íntimo e pessoal, tendo dificuldade em tolerar a proximidade de outras pessoas (HALL, 2005). Isso assume lugar de destaque, principalmente no caso de pesquisas destinadas à confecção de robôs para interação de crianças com TEA. É um achado clínico comum a criança com TEA apresentar dificuldade em compreender seu corpo em sua globalidade e ter dificuldades em estabelecer conexões sociais que envolvam toque físico e contato visual (FERNANDES, 2008).

Um exemplo desse tipo de estudo foi desenvolvido por Feil-Seifer e Mataric (2011). Eles construíram um sistema robótico que analisa comportamentos baseados em distância para classificar e interpretar as respostas das crianças com TEA no contexto da IHR. Os resultados mostraram que na interação criança-robô considerada “positiva”, as crianças permaneceram em contato direto com o robô por um bom tempo, em frente dele, e a uma distância inferior a 1,5 m. Com as crianças que “não reagiram bem” ao robô, interação avaliada “negativa”, houve reiteradas tentativas de se afastar do robô, permanecendo próximas à parede ou junto aos seus respectivos pais.

Para os pesquisadores, esses comportamentos, interpretados a partir da Proxêmica, são bastante elucidativos sobre o estado das crianças em relação ao robô (aceitação ou rejeição), ainda que não tenham se manifestado por outros meios de comunicação (contato visual, gestos ou fala) (FEIL-SEIFER; MATARIC, 2011).

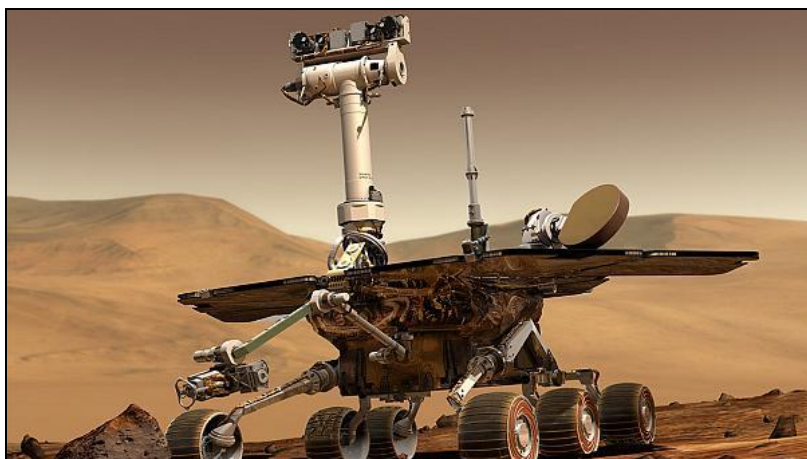
3.2 Robótica Móvel

Considerada um ramo da robótica, a Robótica Móvel normalmente está associada a aplicações em que os robôs desempenham tarefas de modo a trazer mais conforto e segurança para as pessoas. Define-se robô móvel como dispositivo de transporte automático, isto é, plataforma mecânica programável em dois ou mais “eixos de liberdade” com certo grau de autonomia, capaz de se mover em um ambiente para execução de atividades específicas. A autonomia refere-se à capacidade que esse mecanismo tem de realizar tarefas, sem intervenção humana, a partir dos “estados atuais” e informações extraídas do espaço em que ele se localiza (SECHI, 2012; ANDA, 2017, p. 17).

Esse tipo de robô é utilizado em lugares onde há exposição ao calor, ruídos excessivos, gases tóxicos ou ambientes insalubres, assim como em atividades com necessidade de esforço físico extremo, trabalhos monótonos ou trabalhos repetitivos (SECHI, 2012). Robôs móveis terrestres se locomovem por meio de rodas, esteiras ou até mesmo patas (ANDA, 2017)¹¹. Os movidos a rodas são os mais fáceis de controlar, mais rápidos e energeticamente eficientes, e apresentam menos graus de movimento (ANDA, 2017). Além disso, esses robôs normalmente são equipados com outros equipamentos relacionados à sua atividade, tais como braços robóticos, possibilitando maior interação com o ambiente. Um dos robôs terrestres mais conhecidos é o Opportunity, desenvolvido pela NASA para atividades de exploração no planeta Marte. Chamado de “robô astronauta”, aterrissou em Marte em meados de 2004, e uma de suas tarefas era mover-se pelo planeta coletando e enviando informações para estação espacial.

¹¹ Esta seção trata especificamente dos robôs móveis terrestres em razão de ser do mesmo tipo que a plataforma robótica discutida nesta pesquisa de mestrado.

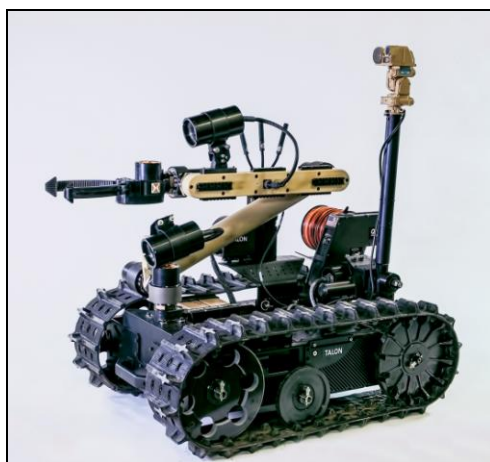
Figura 8 – Opportunity.



Fonte: EURONEWS, 2017.

Além do ramo da pesquisa espacial, há os robôs móveis construídos para atuação em missões militares, como o Talon, da Qinetiq, disponível no mercado desde o ano 2000. Ele é utilizado em operações de descarte de explosivos, de resgate, e para auxiliar no transporte de cargas. Possui autonomia, porém, dependendo do risco da operação, pode ser teleoperado (QINETIQ, 2018).

Figura 9 – Talon.



Fonte: QINETIQ, 2017.

Há, ainda os robôs criados pela Boston Dynamics. O SpotMini é um pequeno robô de quatro patas que pode ser equipado com um braço robótico de cinco

graus de movimento, o que possibilita seu uso para atividades domésticas. Operando de forma totalmente elétrica, o SpotMini possui autonomia de até 90 minutos, dependendo da tarefa a ser executada.

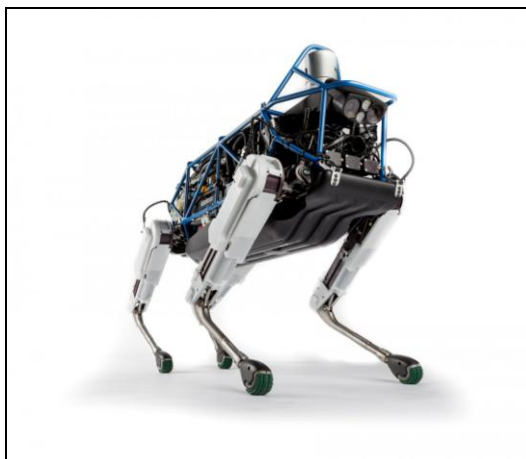
Figura 10 – SpotMini.



Fonte: BOSTON DYNAMICS, 2017.

SpotMini é o robô mais silencioso construído pela Boston Dynamics, e herdou toda a mobilidade de seu “irmão mais velho”, o Spot. Spot é alimentado eletricamente, porém, possui acionamento hidráulico. É capaz de sentir se o ambiente onde se localiza é áspero por meio de um sensor LASER LIDAR e visão estéreo, viabilizando a manutenção de seu equilíbrio mesmo em terrenos acidentados. Sua capacidade de transportar uma carga útil de 23 kg torna esta característica um dos principais atrativos de aplicabilidade (BOSTON DYNAMICS, 2017).

Figura 11 – Spot.



Fonte: BOSTON DYNAMICS, 2017.

O trator *Robot Farmhands*, desenvolvido pela NREC (*National Robotics Engineering Center*), por sua vez, é um exemplo de robô móvel que executa tarefas de alta periculosidade, como pulverização em plantações¹². Seu destaque é a capacidade do sistema de pulverização gerar um mapa, a fim de descobrir qual a quantidade mínima de produtos químicos necessários para aplicação.

Figura 12 - Robot farmhands.



Fonte: NEW SCIENTIST, 2009.

¹² Para uma discussão sobre a caracterização da pulverização de agrotóxicos em plantações como atividade de alta periculosidade recomenda-se a pesquisa de Maria Leonor Paes Cavalcanti Ferreira (2014).

Outra grande vantagem do *Robot Farmhands* é a possibilidade de ser utilizado durante a noite, funcionando por meio de laser. Isso é relevante, considerando que à noite mais insetos estão ativos e os ventos menos fortes, dando uma maior eficiência ao sistema (SIMONITE, 2009).

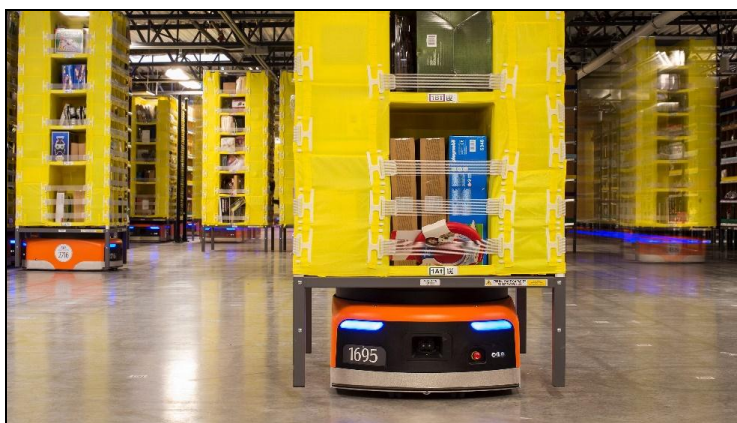
Os robôs móveis industriais, por sua vez, são plataformas robóticas controladas por computadores que atuam fisicamente no ambiente em que realizam sua atividade, sendo teleoperados ou supervisionados por humanos (ANDA, 2017). Esses robôs estão comumente associados a atividades que envolvem transporte/deslocamento de cargas pesadas e trabalho repetitivo. Nesse sentido, há as empilhadeiras autônomas (Figura 13) e os robôs da Kiva, estes últimos utilizados pela Amazon em seus estoques (Figura 14).

Figura 13 - Empilhadeiras autônomas.



Fonte: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017.

Figura 14 - Robô Kiva.



Fonte: BHATTACHARYA, 2016.

Os robôs da Kiva (Figura 14) têm espaço menor do que a carga a ser transportada e trabalham sob ela, facilitando o deslocamento de mais robôs no ambiente (BHATTACHARYA, 2016).

Mais próximo do cotidiano das pessoas está o robô SR8950 (Figura 15) da Samsung, mundialmente conhecido, que aspira sujeira. É um dos mais avançados da atualidade.

Diferente de outros robôs do mercado que, em sua maioria, se movimentam de forma randômica, o SR8950 tem sensores de poeira que são suficientes para indicar aonde a limpeza deve continuar, além de um sistema que possibilita ao próprio robô esvaziar seu compartimento de sujeira, tarefa que normalmente é feita de forma manual pelos usuários dos outros robôs destinados à mesma finalidade (SAMSUNG, 2017).

Figura 15 - Robô SR8950.



Fonte: SAMSUNG, 2017.

Além de aplicações desenvolvidas para tarefas específicas, há robôs móveis projetados para interagir com humanos, trabalhando de forma assistiva, como é o caso do Care-o-bot 4 (Figura 16), ou recreativa, como o Aibo (o cão da Sony) (Figura 17).

Figura 16 - Care-o-bot 4.



Fonte: PHOENIX, 2017.

Figura 17 – Aibo.



Fonte: SONY, 2017.

O Care-o-bot 4 pode ser equipado com um, dois ou nenhum braço robótico. Se o propósito pretendido for servir bebidas, é possível substituir uma mão por uma bandeja ou utilizar somente a plataforma da base móvel como um carrinho de serviço.

Suas plataformas individuais podem ser configuradas para uma ampla gama de aplicações: assistente hospitalar (Figura 16), centro de informações móveis para museus e aeroportos, serviços de cobrança e entrega em residências e escritórios, e aplicações de segurança (PHOENIX, 2017).

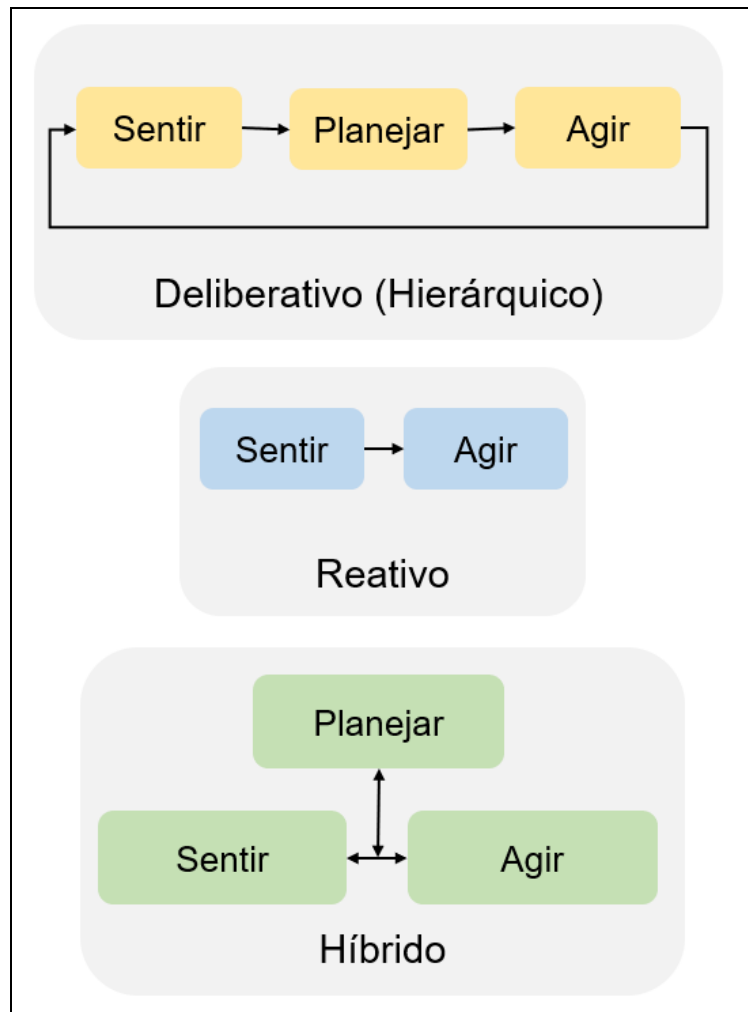
3.3 Arquiteturas de controle para robôs móveis

Independente de qual seja sua aplicação, os robôs são concebidos para a realização de uma tarefa. Para que ela seja executada, é necessário que o robô receba comandos ou processe informações para, então, agir. Todo esse processamento de informações até o momento em que o robô executará a tarefa é fruto da arquitetura de controle.

No contexto desta pesquisa de Mestrado, o termo “arquitetura” está associado ao processo de se construir um programa para o controle inteligente do robô, definindo quais módulos devem fazer parte do sistema e como devem funcionar em conjunto.

Murphy (2000) relaciona as arquiteturas de controle em três pilares principais: sentir (perceber), planejar e agir. A depender de como os pilares são relacionados, obtêm-se três estratégias de controle distintas. Entre as principais e mais conhecidas há a deliberativa ou hierárquica, a reativa, e a obtida da interseção das duas anteriores, chamada de híbrida (Figura 18).

Figura 18 - Estratégias de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1 Controle Deliberativo

O controle deliberativo foi desenvolvido inspirado na forma de planejar e agir do ser humano. Nessa arquitetura, o robô utiliza o conhecimento sobre o ambiente ao seu redor para o planejamento das ações, sendo que esse “modelo do mundo” pode já ser conhecido pelo robô ou obtido por meio de sensores.

A partir da representação do mundo, são definidos os objetivos e as tarefas a serem executadas. Porém, para se definir de que forma o robô alcançará seus objetivos é necessário que o mesmo analise anteriormente as possíveis soluções para, então, definir como realizará sua tarefa. Um fator limitador para o controle deliberativo é o dinamismo do ambiente, pois as mudanças ali

ocorridas vêm atreladas ao replanejamento de tarefas e, por consequência, ao reprocessamento das mesmas (POLICASTRO, 2008).

A estrutura presente nesse tipo de controle é hierárquica e claramente dividida em processos de decisão que permitem ao robô executar tarefas com um alto grau de complexidade. Entretanto, seu alto poder de processamento vem atrelado a um alto custo computacional (o que pode inviabilizar o uso desse controlador), sendo necessário utilizar outro de forma parcial ou total, a depender da aplicação.

Um dos primeiros robôs a serem criados com base nesse controle foi o Shakey, desenvolvido pelo instituto de pesquisa de Stanford na década de 1970. Foi considerado o primeiro robô móvel capaz de raciocinar sobre suas próprias ações (NILSSON, 1969 e 1984). Shakey tinha a capacidade de analisar comandos complexos, fragmentá-los em partes menores e realizar ações sem receber o passo a passo do que deveria fazer.

Figura 19 - Robô Shakey.



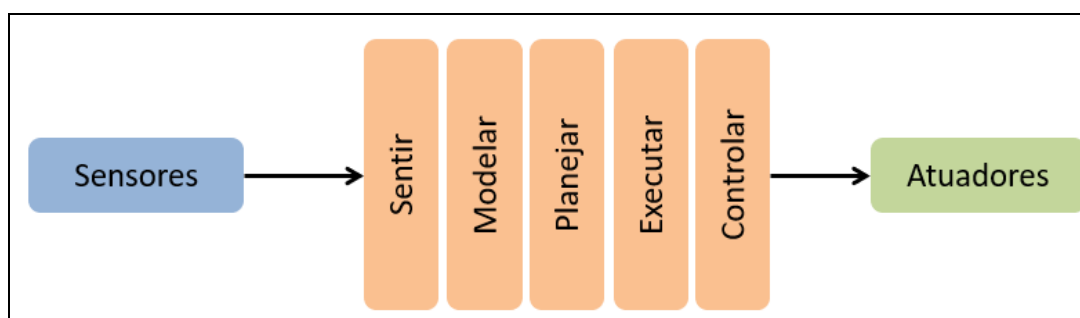
Fonte: SRI INTERNATIONAL, 2017.

Shakey era capaz de controlar suas próprias ações de forma proposital, a fim de alcançar uma determinada missão dentro de uma mudança no ambiente.

Seu impacto na área da Robótica foi tanto que a revista *Life Magazine* se referiu a esse robô como a "primeira pessoa eletrônica" de seu tempo.

A construção de lógicas e algoritmos para controles deliberativos é, normalmente, baseada em uma arquitetura horizontal, conforme ilustrado pela Figura 20 (BROOKS, 1986). Nesse tipo de arquitetura, os módulos são separados em funções mais simples e interdependentes, isto é, a entrada de um módulo significa a saída do seu anterior.

Figura 20 - Arquitetura horizontal.

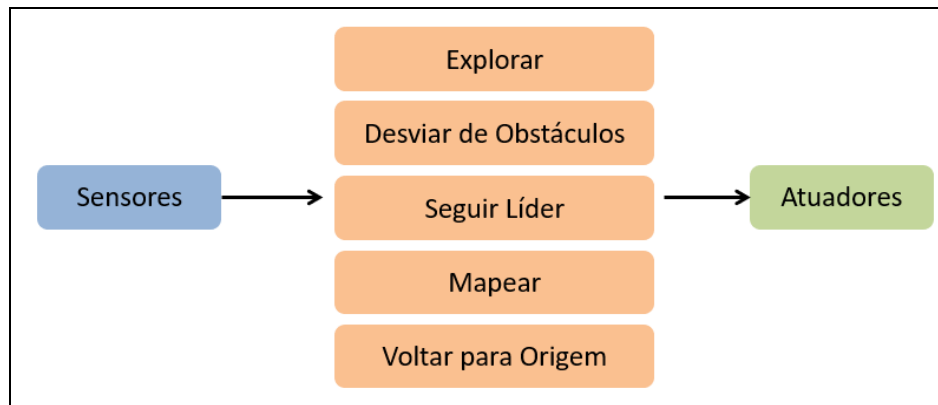


Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse tipo de organização requer um cuidado quanto à concepção do projeto robótico de maneira geral, porquanto as funcionalidades forjadas a partir da interação entre os módulos devem estar bem definidas e projetadas. Qualquer mudança necessária, por menor que seja, afeta o projeto como um todo, dado que os módulos, em separado, são incapazes de executar qualquer ação, reforçando, assim, a dependência e integração entre si.

3.3.2 Controle Reativo

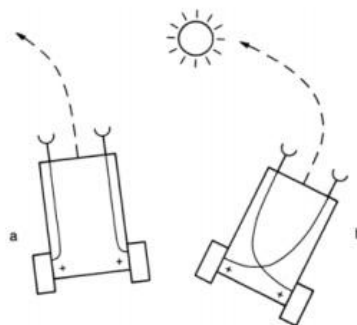
Uma alternativa para contornar o alto custo computacional da arquitetura deliberativa e sua organização horizontal é a arquitetura reativa. Diferente da anterior, a arquitetura reativa possui uma organização de módulos verticalizada, permitindo uma ligação mais direta entre os sensores e os atuadores. A organização definida por Brooks (1986) pode ser vista na Figura 21.

Figura 21 - Arquitetura Reativa.

Fonte: Adaptado de BROOKS, 1986.

Diferente do controle deliberativo, não pensar e reagir são as ideias básicas do controle reativo (POLICASTRO, 2008). Inspirado na natureza, é baseado na resposta a um estímulo, e não conta com um conhecimento prévio do ambiente e nem com processamentos complexos para tomada de decisões. Fazendo uma analogia com os humanos, algumas ações reativas podem ser associadas com o que se conhece por “reflexo” (ARKIN, 1995).

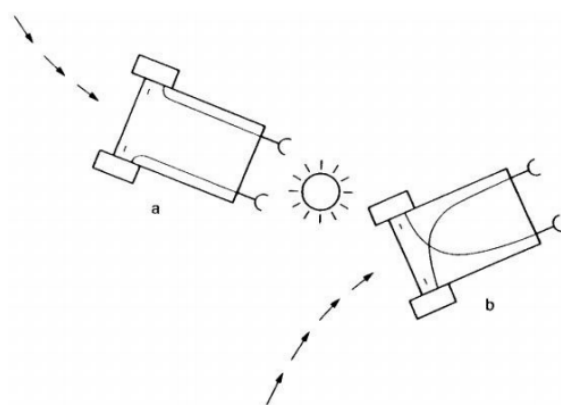
Na Robótica, alguns dos exemplos mais conhecidos quando se fala em controle reativo são os robôs criados por Braitenberg (1984). Trata-se de sistemas, que utilizam excitadores e inibidores acoplados diretamente entre os sensores e os motores, que permitiu o desenvolvimento de robôs capazes de simular comportamentos como afetividade, medo, exploração ou até mesmo agressividade.

Figura 22 - Robôs reativos: a) expressa medo; b) expressa agressividade.

Fonte: RAZER, 2009.

Os robôs representados na Figura 22 são equipados com dois sensores fotoelétricos ligados a dois motores. Dessa forma, quanto maior a luz incidente sobre eles, maior será a “[...] tensão aplicada ao respectivo motor” (SANTÉRIO, 2010, p. 32). Essa configuração representa os comportamentos de medo e agressividade. O comportamento de medo está presente no robô “a”, pois ao detectar a fonte de luz ele se desloca para longe dela até não a detectar mais. Já o robô “b” demonstra agressão, pois quanto mais próximo à fonte luminosa, maior é a velocidade das rodas, o que provocará uma colisão entre o robô e a fonte de luz.

Figura 23 - Robôs reativos: a) expressa afetividade; b) expressa curiosidade.



Fonte: SANTÉRIO, 2010, p. 33.

Para expressar afetividade e curiosidade (Figura 23), os inibidores localizaram-se entre sensores e motores. Desse modo, “quanto maior a incidência de luz sobre o sensor, menor é a velocidade transmitida para as rodas [...]”, sendo que a ausência de luz faz com que a velocidade das rodas seja nula (SANTÉRIO, 2010, p. 33). O comportamento de afetividade presente no robô “a” caracteriza-se pela aproximação do mesmo junto à fonte de luz. Já o comportamento de curiosidade (também chamado de “exploração”), robô “b”, manifesta-se pelo fato dele se aproximar da fonte luminosa, estando virado de lado, e, em seguida, se desviar da fonte luminosa até não a detectar mais (SANTÉRIO, 2010, p. 33).

O controle reativo, de maneira geral, não possui nenhuma inteligência. Tarefas que exigem representação do ambiente ou conhecimento de ações anteriores

constituem uma limitação para essa forma de controle (POLICARPO, 2008). Entretanto, o princípio da reatividade garante uma velocidade de resposta muito alta, permitindo que o robô lide com necessidades imediatas em função do uso direto de dados dos sensores, como evitar obstáculos ao se deslocar, criando, por sua vez, “comportamentos inteligentes”.

3.3.3 Controle Híbrido

Até o momento foram citadas arquiteturas puramente reativas e puramente deliberativas. É possível, por outro lado, desenvolver arquiteturas com diferentes níveis de reatividade e deliberação chamadas de “arquiteturas híbridas”. Muitas vezes a identificação desse grau de hibridização é tarefa complexa, devido à subjetividade na identificação da divisão entre as duas arquiteturas.

3.3.4 Controle Baseado em Comportamento

Além da estrutura em que a arquitetura de controle é baseada, podem ser utilizados outros quesitos para classificá-las. Um deles é a abordagem selecionada para a construção da arquitetura.

Arquiteturas com foco em ações e tarefas a serem realizadas pelo robô, construídas em forma de módulos, são conhecidas como “arquiteturas baseadas em comportamento”. Já as funcionais referem-se às arquiteturas construídas com base em funções bem definidas (SANTÉRIO, 2010). Além dessas há as arquiteturas híbridas que misturam as duas abordagens.

Sobre a mescla do conceito de arquiteturas reativas, deliberativas e híbridas ao de arquiteturas baseadas em comportamentos citam-se os trabalhos de Meystel (1989), Albus e Proctor (1996) com arquiteturas deliberativas; Brooks (1986), Arkin (1998), Rosenschein e Kaelbling (1986), Maes (1989) e Connel (1989) com arquiteturas reativas; e, por fim, Arkin (1987), Murphy (2000), Rosenblatt (1995), Firby (1998) e Gat (1991) com arquiteturas híbridas. Nesta Dissertação de Mestrado serão discutidas apenas as arquiteturas reativas. Uma discussão detalhada sobre as demais é feita por Junior (2006).

Dentro das arquiteturas reativas, a mais representativa é a de Subsunção (BROOKS, 1986; SANTÉRIO, 2010). Trabalhando os comportamentos de forma competitiva, organizando-os em camadas, a arquitetura de Subsunção define que quanto mais alta estiver a camada, maior será sua prioridade em relação às demais. Vale ressaltar, todavia, que não necessariamente todas as camadas inferiores são ignoradas, pois essa arquitetura trabalha com o conceito de inibição e supressão entre comportamentos definidos. Isso significa que a saída de um comportamento de baixa prioridade é substituída por um comportamento de alta prioridade, assim como outro conjunto de comportamentos de baixa prioridade é inibido por esse mesmo comportamento.

Muito semelhante à arquitetura de subsunção é a arquitetura de colônia (CONNELL, 1989). Distingue-se, contudo, da anterior pelo fato de não utilizar o conceito de inibidores, trabalhando somente com a supressão para determinação dos comportamentos. Além disso, ao invés de se trabalhar com o conceito de camadas, a arquitetura de colônias faz uso do conceito de árvore para determinação da prioridade entre os comportamentos.

Uma terceira arquitetura reativa, cuja estrutura é mais parecida com uma rede dinâmica, é a arquitetura de esquema motor (ARKIN, 1987). Esta tem forte aplicação na área da Robótica Móvel. Sua principal característica é a cooperação entre os comportamentos que resultam em um comportamento único. As contribuições de cada comportamento são representadas em forma de vetores, sendo o comportamento final o resultado da soma desses vetores.

Essa representação é gerada a partir do método de campos potenciais. Para dar mais flexibilidade à estrutura da arquitetura, podem ser atribuídos graus de ativação aos comportamentos, assim como um peso relativo para cada comportamento em relação aos demais, influenciando (com uma parcela menor ou maior) no comportamento resultante. Outro ponto que merece destaque é o desconhecimento do robô perante o mundo. Com isso, comportamentos de desvio de obstáculo ou deslocamento em linha reta são obtidos apenas com os dados oriundos única e exclusivamente pelos sensores do robô.

Finalmente, há a arquitetura de seleção de ação (MAES, 1989), escolhida para esta pesquisa de Mestrado. Mais semelhante à arquitetura de esquema motor

do que com as demais, a seleção de ação trabalha dinamicamente na seleção de um comportamento. Esse dinamismo é obtido por meio de alguns fatores atribuídos aos comportamentos, por exemplo, grau de ativação, inibição por outros comportamentos, comportamento atual do robô ou até mesmo pelo decorrer do tempo.

Nesse sentido, quando existe um resultado favorável para mais de um comportamento, executa-se aquele com maior grau da ativação. Com uma dinâmica muito maior se comparada às outras arquiteturas, na seleção de ação há uma dificuldade muito grande em se prever qual comportamento será executado ao serem alterados os dados obtidos pelos sensores sobre o ambiente (JUNIOR, 2006).

Considerando que uma das propostas desta pesquisa era possibilitar a personalização do comportamento do robô, a arquitetura de seleção de ação mostra-se adequada ao trabalho como um todo, pois proporciona a inclusão de novas entradas e saídas sem um impacto nas demais.

4. PLATAFORMA ROBÓTICA

O desenvolvimento do robô MARIA, acrônimo para *Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics*, iniciou-se em 2013 para interação social com crianças com TEA. A partir dos resultados obtidos com MARIA foi possível propor a construção de uma nova versão desse robô, com aprimoramentos de cunho sensorial, estético e de funcionalidade.

Os aprimoramentos foram planejados e construídos em 2016, e contaram com a ajuda de profissionais da área da saúde, como psicólogos e terapeutas, os quais constituem um dos usuários finais do robô (juntamente com a criança em terapia).

Por ser uma nova versão, e apresentar muitas modificações, o novo robô recebeu o acrônimo N-MARIA, com o acréscimo da palavra “New” ao nome original.

4.1 Concepção do robô

A fim de definir as etapas a serem vencidas para se chegar à nova versão do robô, partiu-se da reflexão sobre quais funcionalidades e características esta nova versão deveria possuir e, além disso, para quem ele se destinaria (usuários-fins).

Decidiu-se trabalhar com duas necessidades macro: 1) criar uma plataforma capaz de auxiliar o terapeuta na terapia de crianças com TEA; e 2) construir um robô que atendesse as expectativas da criança em relação ao robô. Compreende-se que atender apenas um dos dois usuários finais inviabilizaria a proposta da N-MARIA, pois caso a criança não quisesse interagir com o robô (por ele não lhe despertar curiosidade/interesse), o trabalho do terapeuta ficaria comprometido.

Por outro lado, as necessidades do terapeuta são de ordem técnica e operacional. Pensando nisso, buscou-se a simplicidade na operação do robô, dado que o terapeuta precisará prestar atenção somente à criança e não ao funcionamento do robô. A partir disso, e inspirado na popularização do uso de

aplicativos de *smartphones*, definiu-se o uso de um aplicativo para dispositivos móveis como controle remoto para utilização do terapeuta (que poderá, se desejar, controlar as funcionalidades do robô).

Ao se buscar atender a expectativa da criança, por outro lado, notou-se uma limitação no entendimento do que uma criança imaginaria ser um robô: Quadrado? Pequeno? Grande? Prateado? Com antenas? etc. Durante o planejamento da N-MARIA, estas e outras perguntas surgiram e não foram respondidas pelos pesquisadores atuantes na pesquisa¹³, porque eles vislumbraram a necessidade de realizar uma pesquisa de opinião com crianças¹⁴, a fim de entender melhor como elas imaginam ser um robô. Assim, realizou-se uma consulta junto a 150 crianças de escolas parceiras ao projeto, em que lhes foi solicitado que desenhassem um robô, de forma livre.

A consulta sobre os desenhos levou a outro questionamento: a criança seria capaz de desenhar o que ela imagina? Poucas conseguiram transpor para o papel o que imaginavam sobre o robô com riqueza de detalhes. Por isso, a análise dessas produções artísticas se concentrou na identificação das características lúdicas comuns aos desenhos que poderiam ser discutidas para a nova versão do robô.

4.1.1 Aspectos construtivos

Com base na pesquisa anterior, algumas melhorias para o robô N-MARIA foram levantadas, destacando-se: rosto dinâmico, sensores de toque, capacidade de detecção da criança ao redor do robô (360°), além de um sistema de câmeras que pudesse inferir as emoções da criança¹⁵.

Afora as necessidades diagnosticadas do projeto anterior uma série de requisitos foi proposta para nova versão, quais sejam: estrutura robótica

¹³ Os estudantes (em nível de Iniciação Científica e de Pós-Graduação) atuantes no projeto de construção da N-MARIA são orientados pelo professor orientador desta Dissertação de Mestrado, Teodiano Bastos.

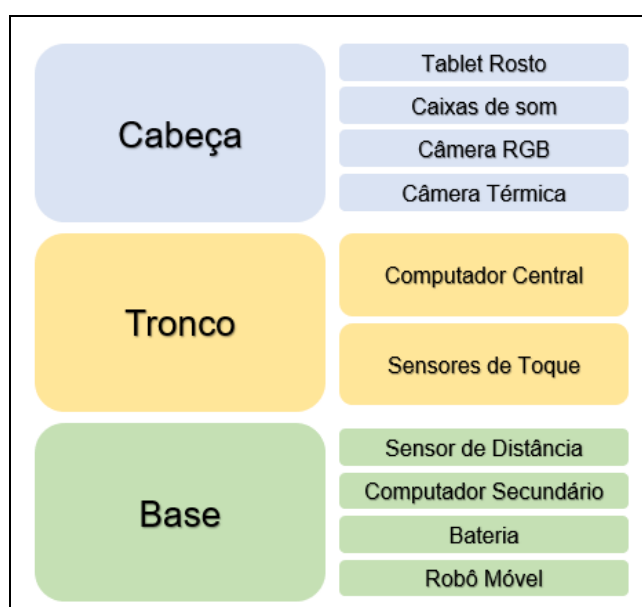
¹⁴ Crianças com desenvolvimento típico das escolas parceiras da pesquisa localizadas em Vitória: “Éber Louzada Zippinotti” e “Marechal Mascarenhas de Moraes”.

¹⁵ A análise das emoções das crianças a partir do uso de câmeras e outros equipamentos é objeto de pesquisa da doutoranda Christiane Mara Goulart, aluna do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, intitulada “Unobtrusive Technique Based on Infrared Thermal Imaging for Emotion Recognition in Children- With-ASD-Robot Interaction”.

segmentada para facilitar seu transporte; utilização de materiais seguros que não apresentasse risco para a criança; estrutura externa com características antropomórficas, com curvas femininas; aparência tecnológica; aumento da autonomia do robô; e aplicação de texturas na parte externa do robô.

Diante disso, discriminaram-se os equipamentos necessários à construção do robô e aonde seria sua possível disposição dentro da nova estrutura física. O resultado está descrito na Figura 24.

Figura 24 - Proposta de estrutura física para o robô N-MARIA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O escopo desta pesquisa de Mestrado engloba todo o trabalho desenvolvido da base ao tronco do robô, assim como a centralização de informações e a comunicação entre os diferentes dispositivos. O sistema localizado na cabeça do robô e as funcionalidades daí decorrentes, por outro lado, são objeto de estudo de outros trabalhos científicos em desenvolvimento¹⁶.

Localizada na parte inferior e responsável por toda mobilidade e alimentação está a base do robô, equipada com uma bateria que fornece uma autonomia de até oito horas de atividades, um robô Pioneer 3D-X, um computador Nuc Intel e

¹⁶ Dentre eles a já citada pesquisa de doutorado de Christiane Mara Goulart.

um sensor laser RP LIDAR A2. Estes três últimos são responsáveis pela localização da criança no ambiente e por todo o controle da parte móvel do robô de forma independente do mesmo. A disposição desses equipamentos foi feita considerando, principalmente, a interdependência dos mesmos. Dessa forma, por mais que ocorra perda de comunicação com o restante da estrutura, o robô continuará a se mover de forma segura.

O tronco, localizado no centro da estrutura, possui um computador Nuc Intel, um roteador *WI-FI* e todo o aparato responsável pelos sensores de toque. Eles centralizam o envio e o recebimento de informações, tanto da base quanto das outras partes do robô. A estrutura física montada pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 – Robô N-MARIA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Funcionalidades

A interação e a comunicação entre o robô e a criança tornam-se possíveis por meio de três funcionalidades principais: a fala, o rosto dinâmico e a capacidade de locomoção do robô.

As “falas” do robô constituem-se de diálogos prontos e podem ser escolhidas pelo terapeuta ou executadas de forma automática, a depender da interação criança-robô. Essa verbalização é obtida por intermédio de uma caixa de som localizada próxima às “orelhas” da N-MARIA (Figura 26). Os diálogos e as expressões faciais do robô são executados via *tablet* posicionado como “rosto” no robô. Daí também são enviados os sinais sonoros dos diálogos para caixas de som.

Figura 26 - Saídas de som da N-MARIA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A mobilidade do robô está dividida em padrões de comportamentos, como o de seguir a criança e fugir dela, aproximar-se, afastar-se, girar e modo apresentação. Para executar esses movimentos, o robô utiliza informações tanto de sua posição quanto da localização da criança no ambiente, obtidas por meio da odometria da própria N-MARIA e do sensor laser, respectivamente. A partir disso e do tipo de comportamento a ser executado, uma estratégia de controle diferente é realizada.

Por fim, para possibilitar ao terapeuta a escolha, se necessário, de quais ações serão executadas pelo robô utiliza-se outro *tablet*, disponível ao profissional responsável pela terapia, como controle remoto que lhe habilita controle total sobre as ações de N-MARIA.

4.2 Sistema

A fim de viabilizar futuras expansões do sistema, como a inclusão de novos sensores ou atuadores que possam melhorar a interação criança-robô, optou-se por uma arquitetura modular capaz de integrar linguagens de programação distintas.

Para tanto, utiliza-se o conceito de *web services*. Trata-se de uma solução utilizada principalmente para a integração de sistemas e em comunicações entre aplicações diferentes, a qual possibilita o desenvolvimento de novas aplicações e sua respectiva integração às já existentes no sistema, ainda que sejam de plataformas ou linguagens diferentes (TRUONG; DUSTDAR, 2009).

Para garantir a segurança operacional e evitar que quedas de comunicação afetem a estabilidade do robô – incidente que poderia causar confusão na criança – decidiu-se por controles descentralizados. Nesse sentido, o *web service* informará quais ações o robô deve executar, instruindo como os atuadores operarão, enquanto os controladores internos de cada atuador operarão por si só.

Um exemplo disso seria o *web service* enviar um comando para a parte responsável pela mobilidade da N-MARIA, a fim de que o robô se aproximasse da criança. Daí em diante, caberia à parte responsável pela mobilidade do robô executar as ações necessárias para execução da tarefa.

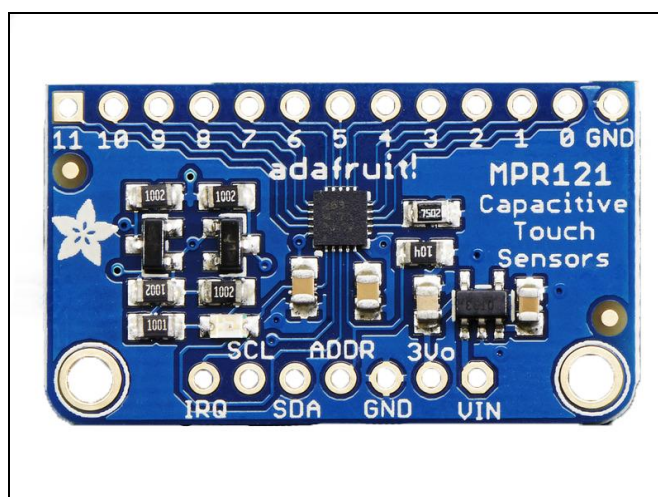
Para registro e integração temporal dos dados, construiu-se um banco de dados que armazena todas as informações enviadas para o *web service*. Isso viabiliza uma análise posterior dos registros extraídos dos sensores e de todas as atividades realizadas com o robô.

4.3 Aquisição de dados e controle

4.3.1 Sensores e processamento de dados

Os sensores de toque utilizados nesta pesquisa constituem partes metálicas conectadas ao *chip* MPR121 da Adafruit (Figura 27). Com capacidade de trabalhar com até 12 sensores por placa, o MPR121 é capaz de transformar um simples fio metálico em um sensor de toque. Ressalta-se aqui a importância da detecção do toque do robô pela criança, como forma de se medir a interação humano-robô.

Figura 27 - Chip MPR121.



Fonte: Elaborado pelo autor.

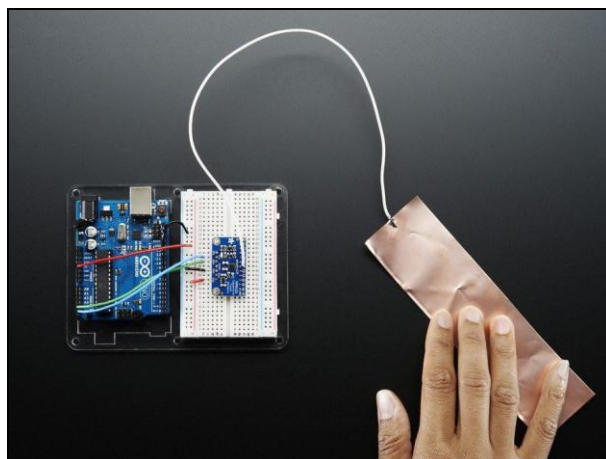
O MPR121 mede a capacitância dos sensores. Ao ser inicializado, uma calibração é feita para obtenção de um valor referência da capacitância de cada sensor. A partir de então os 12 sensores são monitorados. No caso de o sensor ser tocado por uma pessoa, sua medição de capacitância varia em relação à referência, sendo o toque registrado. O contrário também acontece quando a pessoa deixa de tocar o sensor, havendo o registro.

O *software* utilizado para obtenção das informações de quais sensores (e quando) foram tocados é livre e disponibilizado pelo fabricante em seu próprio *site*. O MPR121 possui comunicação I2C, o que facilita sua integração com diversos micro-controladores. Para comunicação com o sensor, utilizou-se a

placa de desenvolvimento Arduino MEGA que, ao receber os dados do sensor, transmite-os para um dos computadores via comunicação serial.

Os sensores de toque podem ser construídos e conectados ao MPR121 por um fio soldado ou com um conector do tipo jacaré em sua ponta (Figura 28).

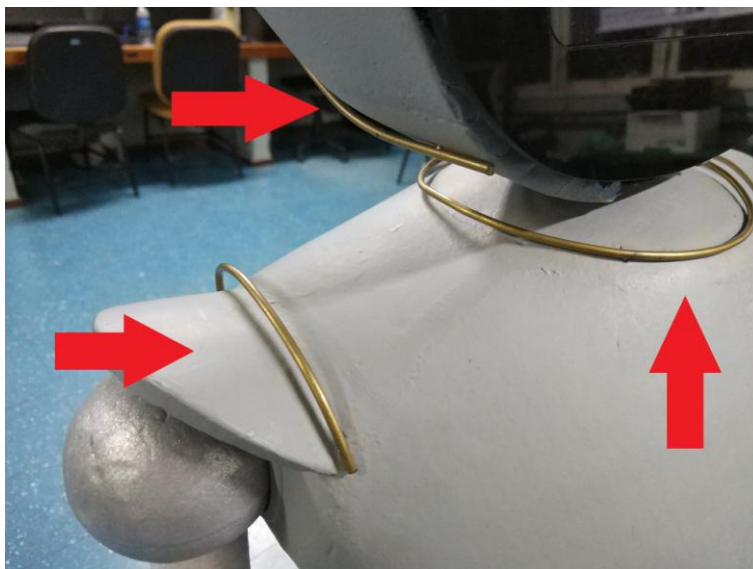
Figura 28 - Sensor de toque conectado ao MPR121.



Fonte: ADAFRUIT, 2018.

Para o desenvolvimento da N-MARIA foram utilizados tarugos de latão com dimensão de 1/16 polegadas para atuar como sensor de toque capacitivo. A escolha deste material decorre de sua maleabilidade, possibilitando a construção de sensores de toque disfarçados de detalhes na estrutura física do robô. Por serem metálicos, foi possível soldar alguns terminais que facilitaram tanto sua fixação na estrutura como também sua conexão com o MPR121 (Figura 29). Ao todo foram instalados nove sensores em diferentes partes do robô.

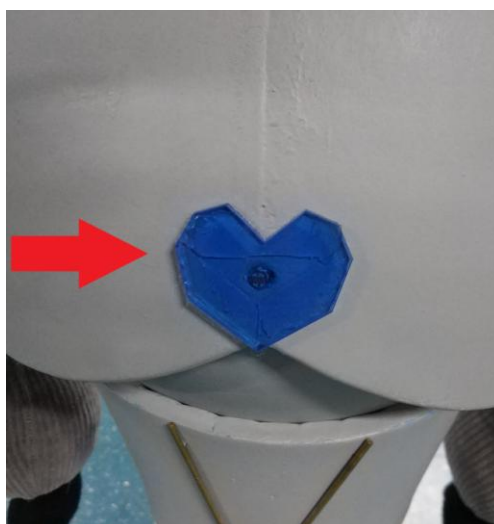
Figura 29 - Sensores de toque da N-MARIA.



Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos sensores de toque utilizados em conjunto com o MPR121, outro sensor serviu para a mesma finalidade em razão da limitação de materiais e do interesse em explorar detalhes estéticos diferentes dos metálicos já presentes no robô. Utilizando um sensor de luz e uma placa de acrílico translúcida, foi possível camuflar o sensor e possibilitar a instalação de *LEDs* também para uso como sensor de toque (Figura 30).

Figura 30 - Sensor de luz no "coração" da N-MARIA, atuando como sensor de toque.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conectada à entrada analógica do Arduino MEGA foi implementada uma rotina inspirada na utilizada pelo MPR121. Ao iniciar o sistema, é armazenado, como referência, o valor obtido do sensor de luz. Ocorrendo o toque nessa região, o sensor é coberto, gerando, assim, uma variação de valor medido em relação à referência, sendo o toque registrado (Figura 30).

No quesito mobilidade do robô algumas regras operacionais foram adotadas visando a segurança e o conforto da criança durante a interação com a N-MARIA. Duas medidas principais merecem destaque. A primeira é a regra de não colisão do robô, tanto com a criança quanto com qualquer outro objeto que esteja no seu percurso de sua trajetória. A segunda, por sua vez, é a regra da região de interação.

A região de interação é um quadrado virtual que restringe a locomoção do robô. A criação computacional do quadrado é gerada a partir dos dados de odometria fornecidos pelo próprio robô, que, por sua vez, permite o cálculo da posição da N-MARIA em relação ao ambiente. Assim, ao obter a posição da criança em relação ao robô, também é possível calcular a localização da criança no espaço físico.

Caso a criança seja detectada dentro do quadrado de interação o robô poderá se movimentar, do contrário, ficará parado até que a criança entre na região pré-determinada. A ideia de utilizar a região de interação justifica-se para evitar uma situação que cause medo ou trauma na criança, pois caso o robô receba o comando para segui-la e ela se afaste, tão logo esteja fora dessa região o robô cessará o modo seguir.

Para detecção da localização da criança foi utilizado o sensor de distância a laser RP LIDAR A2 (Figura 31). Com capacidade de medir até 4000 pontos em 360°, esse sensor ampliou possibilidades se comparado ao sensor anteriormente utilizado, o Sick LMS-200, que realizava medições em 180° (utilizado no projeto da MARIA – robô anterior).

Figura 31 - Sensor de distância a laser RP LIDAR A2.



Fonte: ROBOSHOP, 2018.

O sensor laser RPLIDAR A2 utiliza tecnologia de medição por triangulação do laser e é capaz de medir distâncias que variam entre 0,15 e 6 m. Através de uma nuvem de pontos 2D fornecida pelo sensor é possível detectar obstáculos e reconstruir o ambiente ao redor, o que facilita a navegação do robô.

O algoritmo responsável pela obtenção da localização da criança na nuvem de pontos funciona de forma simples; ao considerar a criança como o ponto mais próximo ao robô dentro da zona de interação. Tal simplificação é possível graças à condição de operação do robô. Como o robô N-MARIA só se moverá dentro do quadrado de interação, uma área livre de objetos, o único objeto capaz de ser detectado será a criança.

Uma condição que detectaria “a criança” de maneira equivocada seria o caso de outra pessoa entrar na área de interação e se posicionar mais próximo ao robô do que a criança. Porém, acredita-se que isso não seja um problema, mas sim um recurso adicional a ser explorado na análise de atenção compartilhada ou até mesmo para encorajamento da criança na interação com o robô após ela mesma assistir uma interação entre o robô e outro indivíduo.

4.3.2 Aplicação Móvel

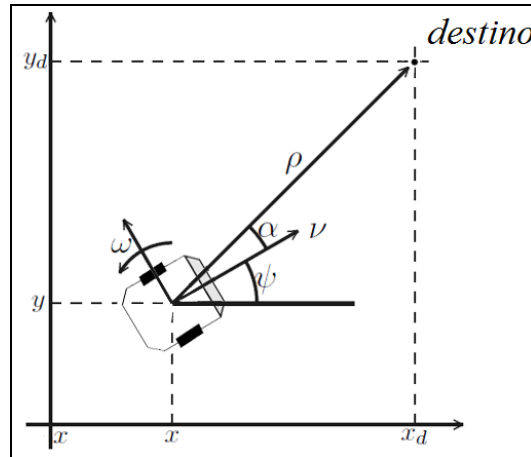
No quesito mobilidade, o robô foi programado para executar alguns comportamentos: girar, apresentar-se, seguir, aproximar-se e afastar-se da criança. O controle responsável pelo giro do robô trabalha com um erro angular inicial que é decrementado a partir da integração do giro dado pelo robô. A parte da apresentação é a combinação dos comportamentos de giro com aproximar-se e afastar-se da criança, sendo estes dois últimos descritos a seguir.

O controle proposto para executar os comportamentos de seguir, aproximar-se e afastar-se da criança são idênticos e similares ao apresentado em Secchi (1998), conforme Equação 1. Nota-se que tanto a velocidade linear quanto a velocidade angular são dependentes dos erros angular e linear em relação ao ponto de destino (neste caso, um ponto próximo à criança (Figura 32).

$$\begin{aligned} v &= v_{\max} \tanh \rho \cos \alpha \\ \omega &= k_{\omega} \alpha + v_{\max} \frac{\tanh \rho}{\rho} \sin \alpha \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

onde v é a velocidade linear; $v_{\max}$ é a velocidade linear máxima; ρ é a distância entre o robô e o ponto onde se quer chegar (próximo à criança); α é o ângulo de orientação entre a criança e o robô; ω é a velocidade angular; k_{ω} é um ganho constante do controlador; x e y são as coordenadas onde o robô se encontra, e x_d e y_d são as coordenadas do ponto destino.

Figura 32 - Sistema de coordenadas utilizado para controle de posição final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Visando obter um comportamento mais natural, em que a aproximação é feita de forma indireta com velocidades angular e linear independentes dos erros linear e angular, respectivamente, propôs-se uma modificação do controle proposto e Secchi (1998), como mostrado na Equação 2.

$$\begin{aligned} v &= v_{\max} \tanh \rho \tanh d \\ \omega &= \omega_{\max} \tanh \alpha \tanh d, \end{aligned} \quad (2)$$

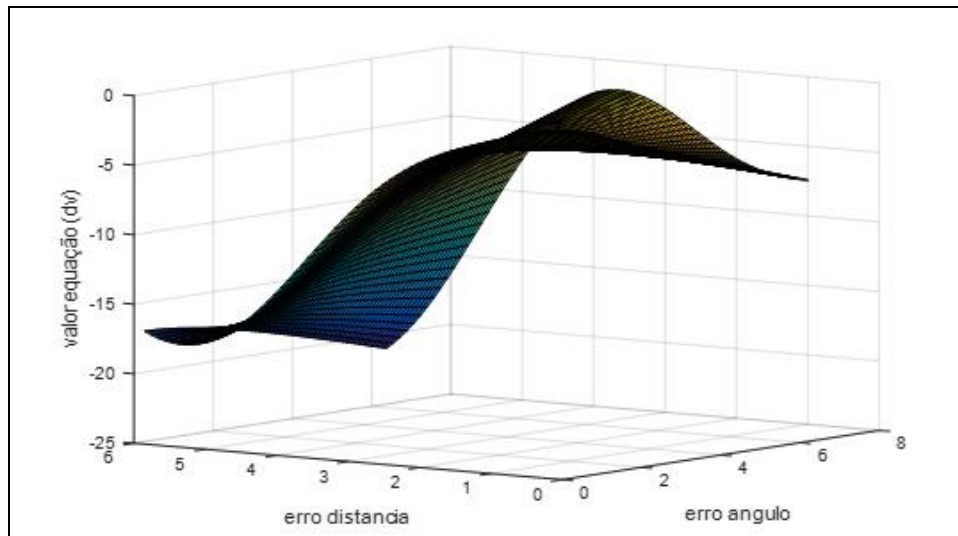
onde d é a distância entre o robô e a criança, de forma a impor ao robô velocidades menores quando ele está próximo à criança. Essa modificação possibilita aplicações em que o ponto de destino do robô é diferente da localização da criança, permitindo que o robô se aproxime da criança com velocidades mais baixas. Sem esse último fator, o robô poderia se mover com velocidade máxima, mesmo estando próximo à criança, fato que causaria desconforto ou insegurança à mesma.

A estabilidade do controlador pode ser provada aplicando a Equação 2 na função candidata de Lyapunov apresentada pela Equação 3 (definida positiva). Verifica-se que o sistema é assintoticamente estável no sentido de Lyapunov, como mostrado na Equação 4, que é definida negativa (Gráfico 1).

$$V(\rho, \alpha) = \frac{\rho^2}{2} + \frac{\alpha^2}{2} \quad (3)$$

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = v_{\max} \tanh \rho \tanh d (-\rho \cos \alpha + \alpha \frac{\sin \alpha}{\rho}) - \alpha \omega_{\max} \tanh \alpha \tanh d, \quad (4)$$

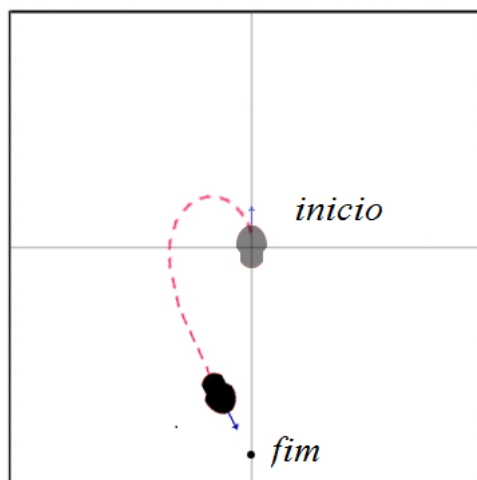
Gráfico 1 - Derivada da função candidata de Lyapunov.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma melhor ilustração da forma de aproximação citada anteriormente pode ser vista na Figura 33. Observa-se que o controle proposto tem uma aproximação mais gradual e menos direta.

Figura 33 - Caminho percorrido com o controle proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É válido ressaltar que há controles que possibilitam realizar a mesma tarefa percorrendo um espaço menor, porém, para a atividade intencionada, o tempo ou a distância de percurso são variáveis menos importantes do que a interação criança-robô.

4.3.3 Controle baseado em comportamentos

Baseado no pressuposto de que o robô atuará como uma ferramenta auxiliar no trabalho terapêutico em crianças com TEA, escolheu-se a arquitetura de controle de seleção de ação, dada sua capacidade de customização (MAES, 1989, já que o modo de funcionamento do robô altera conforme a configuração escolhida por cada terapeuta.

Outra vantagem do uso dessa arquitetura é a possibilidade de inclusão de novos comportamentos ou sensores ao robô, sem que isso acarrete um impacto grande aos comportamentos já existentes. Numa arquitetura de subsunção, por exemplo, essas inclusões possivelmente constituir-se-iam uma limitação, dada a organização rígida dos comportamentos em camadas pré-definidas.

O grau de ativação determinante para a execução dos comportamentos na proposta de controle adotada nesta pesquisa baseia-se nos seguintes quesitos:

- Distância existente entre o robô e a criança;
- Informações dos sensores de toque;
- Avaliação do terapeuta acerca do nível de interação entre o robô e a criança, assim como a curiosidade da mesma em relação ao robô.

Esses quesitos também podem ser customizados pelo terapeuta e habilitados de forma gradual, de maneira a inibir ou ativar um dado comportamento, sendo que a distância entre o robô e a criança tem seu grau de ativação relacionado diretamente ao conceito Proxêmica.

Comportamentos considerados “íntimos” serão ativados quando o robô estiver posicionado a uma distância abarcada pelo espaço íntimo da criança (entre 15 e 45 cm). O contrário também ocorrerá, isto é, esses comportamentos serão inibidos quando o robô estiver a uma distância maior do que a métrica utilizada como parâmetro¹⁷.

Pode ocorrer de um comportamento estar configurado para mais de uma distância, por exemplo, as distâncias “íntima” e “pessoal”. Nesses espaços mais próximos à criança é factível a ativação de comportamentos de caráter mais reativos (convites à criança para se aproximar ou respostas ao toque dela em partes do corpo do robô).

Dessa forma, espera-se estimular a curiosidade da criança para conhecer detalhes do robô, a exemplo das texturas presentes na estrutura física da N-MARIA que, segundo terapeutas, são características fundamentais para alguns trabalhos com crianças com TEA.

Devido ao objetivo de se construir uma interação efetiva entre a criança e o robô, caberá ao terapeuta avaliar os níveis de curiosidade e de interação, e enviar essas informações para o robô por meio do *tablet* que ficará à sua disposição.

¹⁷ A métrica utilizada foi apresentada na seção sobre Proxêmica do Capítulo 3.

Além dos quesitos determinantes para a ativação dos comportamentos e das informações enviadas ao robô por intermédio do terapeuta, há ainda comportamentos que poderão ser disparados por esse profissional para parabenizar e motivar a criança. Nas situações em que a criança fizer alguma pergunta ao robô, o terapeuta poderá selecionar um comportamento de resposta em que o robô responderá à última pergunta feita por ele mesmo, a fim de evitar uma possível frustração na criança.

Importa salientar que essa funcionalidade foi desenvolvida para atender situações em que a criança retrucar alguma pergunta feita por N-MARIA. Essas duas ações (responder e parabenizar) apresentam uma característica digital, sendo que o terapeuta enviará a informação para o robô e, imediatamente, um comportamento correspondente será acionado.

Os sensores de toque também atuam de forma digital, porém, inibindo um comportamento indesejado e contribuindo para a ativação de comportamentos mais relacionados ao toque e à exploração do robô.

Além das variáveis digitais, existem as analógicas que contribuem, dentro de uma faixa configurada pelo terapeuta, para a ativação dos comportamentos. Na Tabela 1 mostram-se como as variáveis escolhidas contribuem para o grau de ativação de cada comportamento, e os respectivos responsáveis pela informação.

Tabela 1 - Variáveis, graus de ativação e responsáveis pela informação.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Tipo de sinal	Responsável
Distância	Íntimo	Público	Analógico	Robô
Toque	Não	Sim	Digital	Robô
Responder	Não	Sim	Digital	Terapeuta
Curiosidade	0%	100%	Analógico	Terapeuta/Robô
Interação	0%	100%	Analógico	Terapeuta
Parabenizar	Não	Sim	Digital	Terapeuta

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível que dois ou mais comportamentos apresentem o mesmo grau de ativação. Neste caso, a opção será pela utilização de uma variável aleatória que definirá de forma arbitrária o comportamento a ser executado. A Tabela 2 apresenta um exemplo de configuração de cada comportamento e as variáveis relacionadas.

Os círculos verdes inscritos na tabela (●) indicam que o comportamento será ativado somente nos casos em que seus marcadores verdes corresponderem à situação atual. Um exemplo seria a situação em que o nível de curiosidade é de 50%, o de interação é de 60%, e a criança está na área de interação “social”. Nesta condição os comportamentos das linhas 2, 5, 6 e 7 da Tabela 2 estarão ativados, cabendo ao arbitrador definir qual desses comportamentos será executado.

Nas colunas de “toque”, “responder” e “parabenizar” há linhas com dois círculos verdes (●●), indicando os comportamentos que não serão inibidos nos casos em que essas indicações não ocorrerem. Isto pode ser verificado no exemplo anterior, em que os itens 5 e 7 funcionam também em situação de toque. Todavia, nesse exemplo o robô não era tocado e, mesmo assim, os comportamentos foram ativados.

Não obstante à limitação da ativação de comportamentos (um por vez), é possível configurar o controlador de forma que comportamentos de naturezas diferentes (como fala e modo de operação) sejam ativados simultaneamente ou em conjunto. A combinação desses comportamentos, portanto, permitirá a criação de novos.

Tabela 2 - Configuração dos comportamentos e variáveis relacionadas.

	Tipo		Comportamento	Responder	Parabenizar	Curiosidade														Interação											Toque	Distância			
	Fala	Modo de Operação				0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Intima	Pessoal	Social		Publica			
1	x		Eu estou feliz, você está feliz?	●●							●	●	●	●	●	●				●	●	●	●	●	●	●	●●	●	●		●				
2	x		Olá, meu nome é N-Maria, qual é o seu nome?	●●				●	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●	●	●	●				●	●	●	●				
3	x		Olá, meu nome é N-Maria, eu estou aqui para brincar	●●				●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●					●	●	●	●				
4	x		Venha me conhecer, toque meus braços e minhas mãos						●	●	●	●	●	●	●				●	●	●	●	●			●		●	●						
5	x		Você gosta de brincar? Eu gosto! Vamos brincar?								●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●	●	●●	●	●	●					
6	x		Venha me seguir								●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●				●	●	●				
7	x		Muito bom		●●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●●	●	●	●	●	●			

[illegible]

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os experimentos desta pesquisa foram realizados em duas etapas. Na primeira, aplicou-se um questionário estruturado com crianças para inferir se a estrutura e a aparência física da N-MARIA atendem à expectativa desse perfil de público.

A segunda etapa concentrou-se na operacionalização e no funcionamento do robô e foi dividida em quatro seções. A primeira e a segunda apresentam os experimentos concernentes à mobilidade do robô, às mudanças entre os comportamentos, e à demonstração das regras de segurança.

A terceira parte demonstra a operação remota do robô feita pelo terapeuta por meio da plataforma móvel. Por fim, a última mostra o funcionamento do robô a partir do controle baseado em comportamento.

5.1 Questionário – Estrutura e aparência física

5.1.1 Motivação

A construção da nova plataforma robótica (N-MARIA) objetivou atender às necessidades de seus usuários finais: o terapeuta e a criança. Para atingir as expectativas que porventura uma criança tenha em relação a um robô, tornou-se necessária a aplicação de um questionário.

Esse questionário é utilizado pelos pesquisadores partícipes do desenvolvimento da N-MARIA¹⁸ e vinculados à linha de pesquisa Tecnologia Assistiva do Grupo “Robótica e Tecnologia Assistiva” cadastrado no CNPq¹⁹. A aplicação do questionário buscou avaliar, a partir das respostas das crianças, a aparência física e as funcionalidades de comunicação verbal presentes na N-MARIA.

¹⁸ Em nível de Pós-Graduação vale mencionar a pesquisa de doutorado, em curso, de Christiane Mara Goulart intitulada “Unobtrusive Technique Based on Infrared Thermal Imaging for Emotion Recognition in Children- With-ASD-Robot Interaction”.

¹⁹ Este grupo de pesquisa é liderado pelos docentes Teodiano Freire Bastos Filho e Mario Sarcinelli Filho. Para mais informações recomenda-se acessar o link do espelho do grupo disponível em: dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/0394130757582217

5.1.2 Metodologia

O questionário, de tipo estruturado, foi desenvolvido no âmbito das pesquisas realizadas para a primeira versão do robô, MARIA, em 2013. As perguntas do questionário (abaixo transcritas) foram submetidas ao crivo do Comitê de Ética, tendo sido aprovadas em 2015, conforme Parecer nº 1.121.638, de 24 de junho daquele ano.

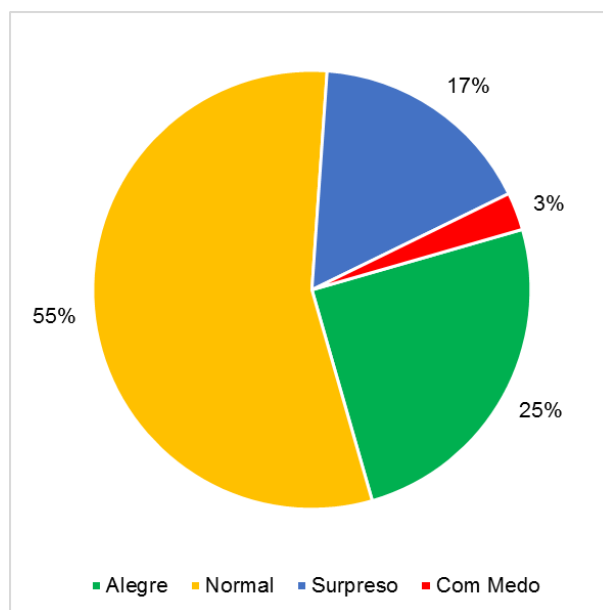
- 1) Como você se sentiu pouco antes de ver o robô?
- 2) Qual é a sua opinião sobre a aparência do robô?
- 3) Do que você mais gostou no robô?
- 4) Do que você menos gostou no robô?
- 5) Você gostou de ver o robô?
- 6) Como você se sentiu depois de ver o robô?
- 7) O que você mudaria no robô?

O questionário foi aplicado em 2017 para 36 crianças de escolas parceiras ao projeto²⁰, sendo 18 meninas e 18 meninos, com idade média de 11 anos (a mais nova tinha à época 8 anos e a mais velha, 13). A primeira pergunta do questionário foi feita às 36 crianças antes do primeiro contato com o robô, e as demais questões ocorreram após a apresentação da N-MARIA.

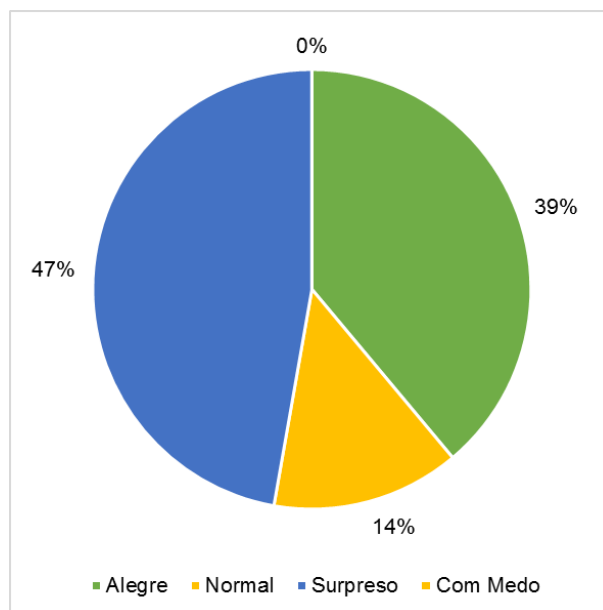
5.1.3 Resultados

Os Gráficos 2 e 3 apresentam o sentimento relatado pelas crianças antes e após conhecerem o robô.

²⁰ Escolas “Eber Louzada Zippinotti” e “Marechal Mascarenhas de Moraes”.

Gráfico 2 - Sentimento antes de ver o robô.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 - Sentimento após ver o robô.

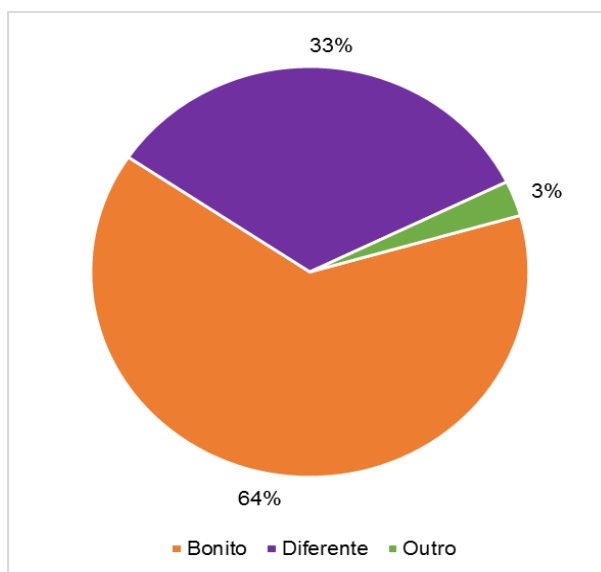
Fonte: Elaborado pelo autor.

Da análise dos Gráficos 2 e 3, infere-se que, de maneira geral, o robô atendeu às expectativas das crianças, dado o aumento de 30% do percentual de crianças que relataram surpresa após serem apresentadas ao robô, e o acréscimo de 14%

daquelas que se sentiram alegres. Além desses aumentos considerados positivos, vale registrar que nenhuma criança manifestou medo após conhecer a N-MARIA.

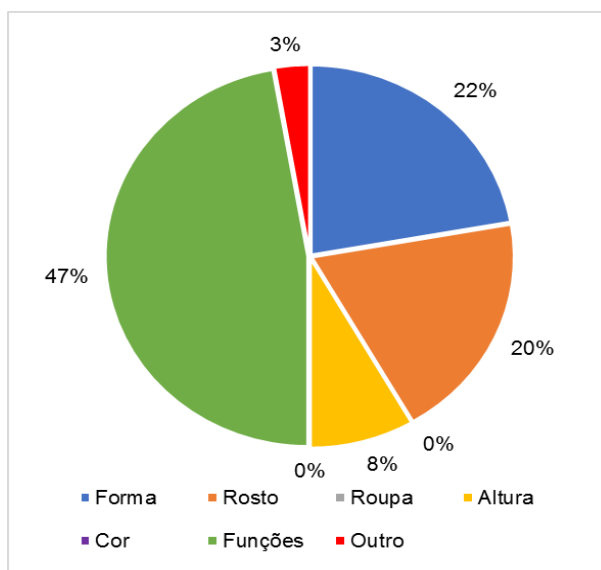
No Gráfico 4 apresenta-se o resultado relativo à aparência do robô. Das 36 crianças entrevistadas, 64% consideraram o robô bonito, 33% o acharam diferente, e apenas 3% tiveram outra opinião. Aspectos relacionados às respostas do Gráfico 4 podem ser relacionados à análise dos Gráficos 5 e 6.

Gráfico 4 - Opinião sobre a aparência do robô.

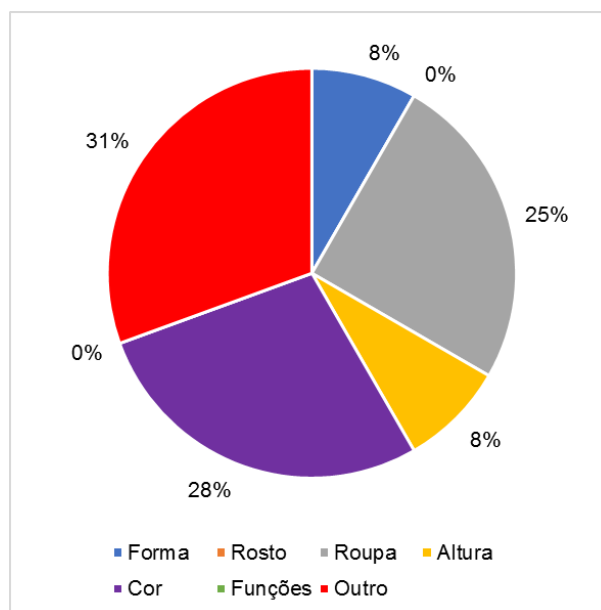


Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 - O que mais gostou no robô.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 - O que menos gostou no robô.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao se analisar os Gráficos 5 e 6 observam-se alguns pontos positivos e outros que são passíveis de melhorias. Dentre estes últimos citam-se “roupa” e “cor”, com 25% e 28%, respectivamente.

Em contrapartida, os quesitos “rosto” e “funções” aparecem no Gráfico 5 com 20% e 47% das respostas, respectivamente, indicativo positivo do atendimento das expectativas das crianças. Acredita-se que o ajuste nas cores e na roupa da N-MARIA, em resposta às demandas das crianças, poderá se traduzir em novos pontos positivos do robô.

Quando questionadas sobre o que especificamente mudariam na N-MARIA, as crianças sugeriram diversos itens, a exemplo da cor, da roupa, da inclusão de cabelo e de mais detalhes no corpo do robô, indicando elementos que de alguma forma despertariam maior interesse nelas em relação ao robô, e consequente engajamento social durante a interação com o mesmo.

Além desses resultados, vale citar a resposta à quinta questão (se as crianças gostaram ou não de interagir com o robô): 100% das crianças assentiram positivamente, conforme demonstram os dados do Gráfico 3 em comparação ao Gráfico 2.

5.2 Aplicação Móvel – Mudança entre modos de operação

5.2.1 Motivação

Avaliou-se a estabilidade dos controladores do robô, tanto de forma individual (desempenho individual), quanto coletiva (transição entre modos diferentes de operação).

5.2.2 Metodologia

Para o experimento, um voluntário fez o papel da criança durante a interação. Foram utilizados quatro modos de operação com os seguintes objetivos: giro do robô em volta dele mesmo (360°), aproximação do robô em relação à pessoa, afastamento do robô em relação à pessoa e, finalmente, um modo de operação seguidor (o robô segue a pessoa que está em movimento).

Os modos de operação citados, com exceção do primeiro, funcionam somente se a pessoa estiver dentro da área de interação (“quadrado”)²¹. Situações em que a pessoa sai do “quadrado” estão dispostas no segundo experimento.

Além da condição prescrita pela área de interação há, ainda, a observância da Proxêmica. Os modos de operação foram configurados de modo que o robô interaja com a pessoa obedecendo às distâncias prescritas pela Proxêmica²². Essa medida de distância pode ser customizada e é fundamental para uma movimentação segura do robô no que toca à segurança física (acidentes) e emocional da criança (emoções negativas e, talvez, traumas decorrentes de uma aproximação muito invasiva).

O experimento iniciou-se com o robô executando um giro de 360° em torno do seu próprio eixo. Em seguida, ele se aproximou da pessoa que estava dentro do “quadrado” de interação e, decorridos 10 segundos, afastou-se da mesma. Por fim, o robô seguiu a pessoa durante um minuto enquanto a mesma se deslocava de forma livre.

²¹ A área de interação definida para os experimentos corresponde a um quadrado com 3,6m de lado, em razão da disponibilidade de espaço físico Núcleo de Tecnologia Assistiva (NTA/Ufes).

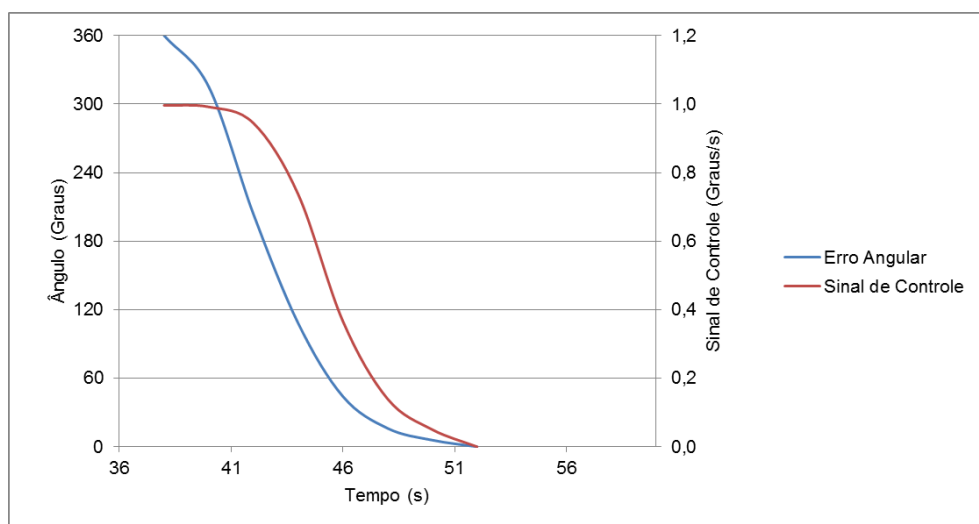
²² O conceito Proxêmica e a classificação das distâncias (íntima, pessoal, social e pública) foram apresentados no Capítulo 3.

A distância de segurança configurada para esse experimento foi de 500 mm. Os dados de posição do robô foram obtidos através de sua odometria que, em conjunto com o sensor laser embarcado, registrava a posição da pessoa. Além desses dados, os valores dos erros do controlador e os do sinal de controle também foram registrados. A mesma forma de registro de dados foi utilizada no segundo experimento.

5.2.3 Resultados

Os gráficos das etapas do teste e os respectivos modos de operação são demonstrados a seguir. No Gráfico 7 apresentam-se os dados referentes à execução da primeira movimentação do robô, o giro em torno do próprio eixo.

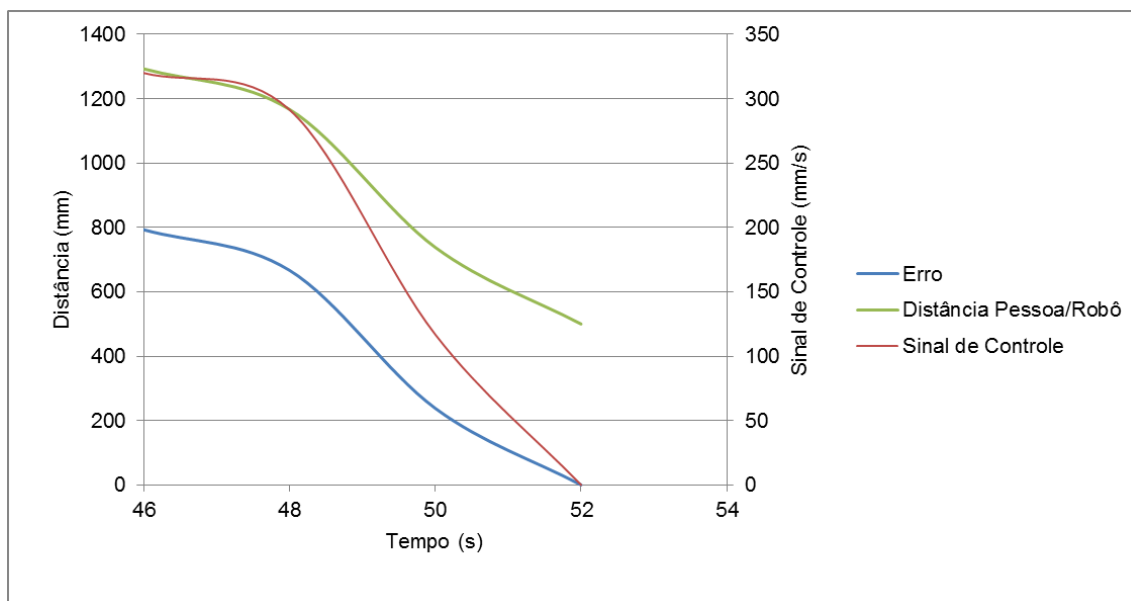
Gráfico 7 - Erro angular e sinal de controle do modo de operação “girar”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar o Gráfico 7, identifica-se a saturação do sinal de controle e sua contribuição para a diminuição do erro angular até ambos serem nulos. Sobre a suavidade do controlador, observa-se que o comportamento do controlador, marcado pelas curvas de desaceleração que evitam “trancos” ou movimentos abruptos, previne comportamentos indesejáveis para a aplicação em questão.

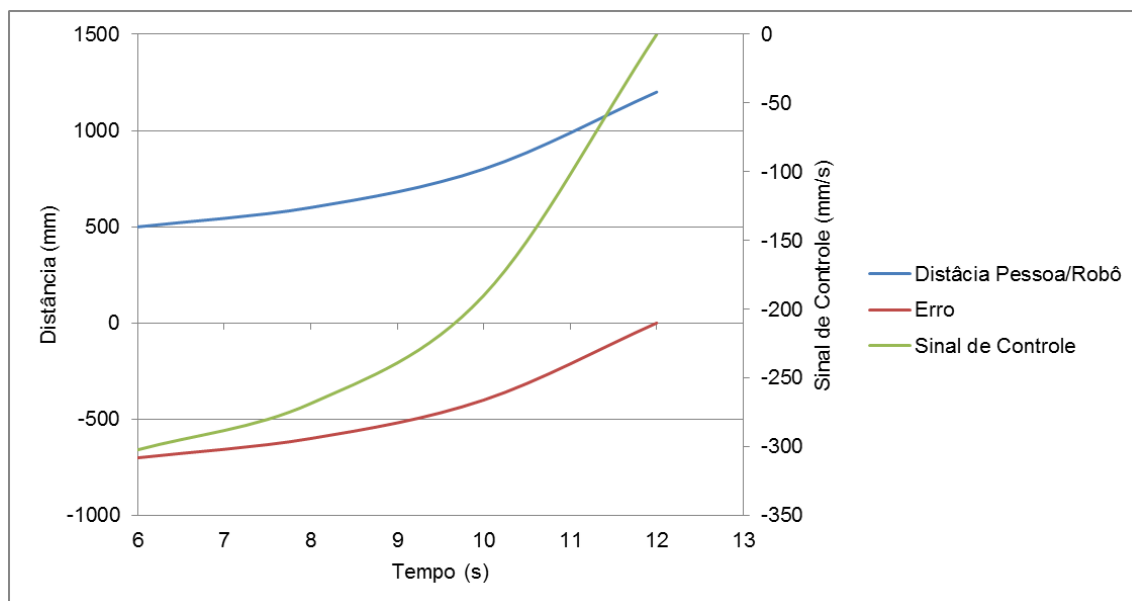
Gráfico 8 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “aproximar”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Similar ao comportamento inferido pelo Gráfico 7, no Gráfico 8 também é possível notar a curva de desaceleração e a saturação do sinal de controle para erros muito grandes. Outro ponto a destacar é a distância entre o robô e a pessoa no momento em que o erro é nulo. O valor de distância próximo de 500 mm refere-se à distância social pré-configurada no robô, a fim de que o mesmo interaja, respeitando o espaço da pessoa.

Gráfico 9 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e robô do modo de operação “afastar”.

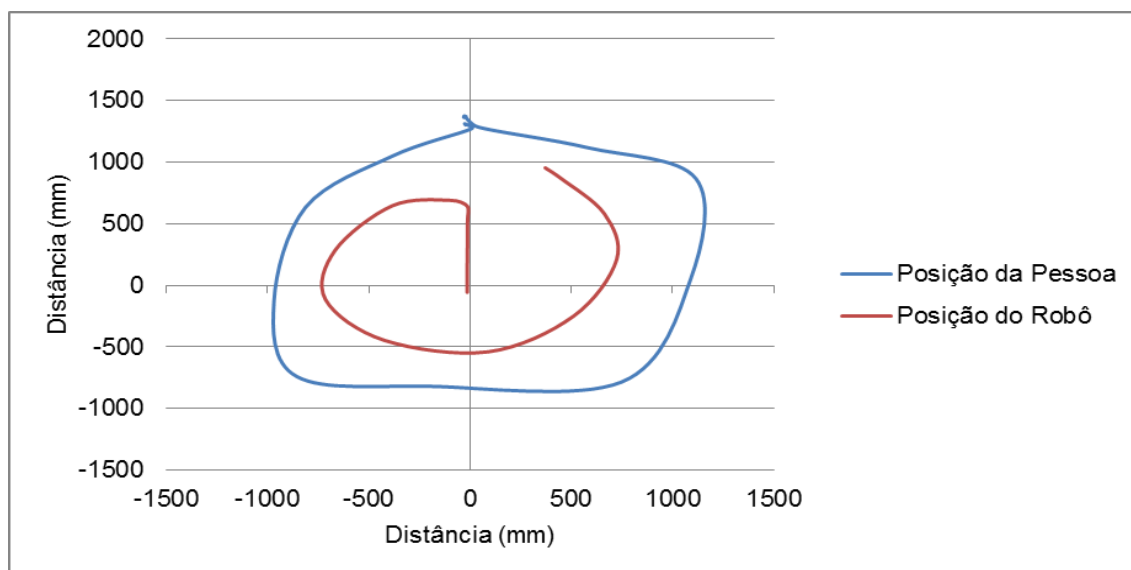


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 9 o robô encontra-se mais próximo da pessoa, tendo por objetivo se afastar da mesma. O sinal de controle aplicado ao robô possui valor menor que zero, indicando que ele deve mover-se para trás, até que esteja a uma distância desejada de aproximadamente 1200 mm. Neste momento, o erro linear e o sinal de controle são nulos.

Na última parte desse experimento, a função de “seguir” a pessoa foi ativada. O Gráfico 10 demonstra o caminho realizado pela pessoa e pelo robô.

Gráfico 10 - Posição do robô e da pessoa durante interação do modo “seguir”.

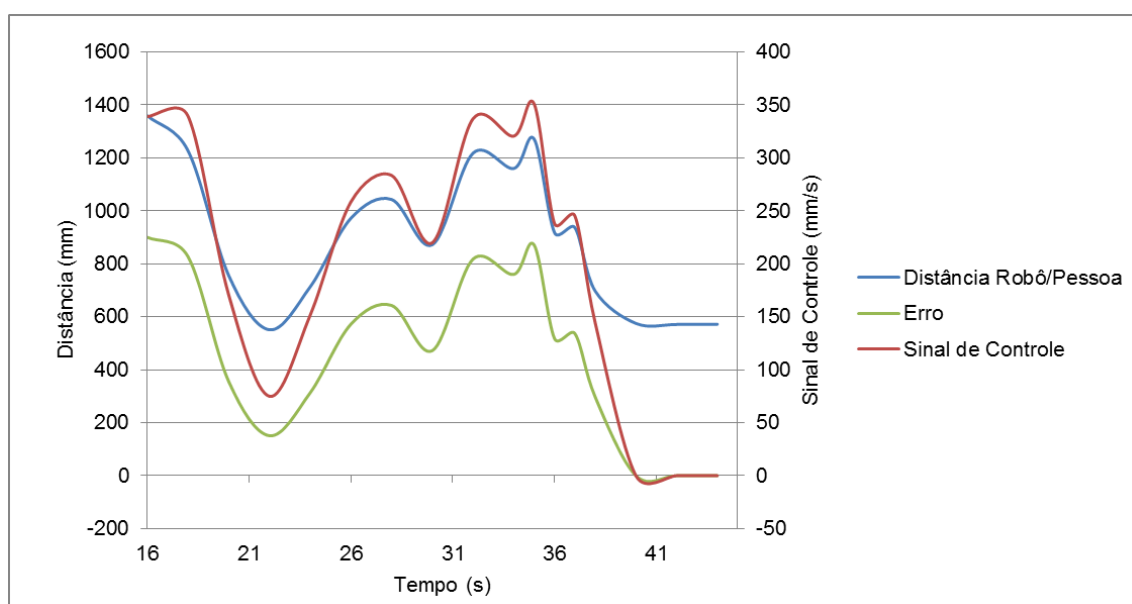


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando a função “seguir” foi ativada, o robô começou a se aproximar da pessoa em linha reta até que ela começasse a se mover, passando a segui-la pela área definida para a interação.

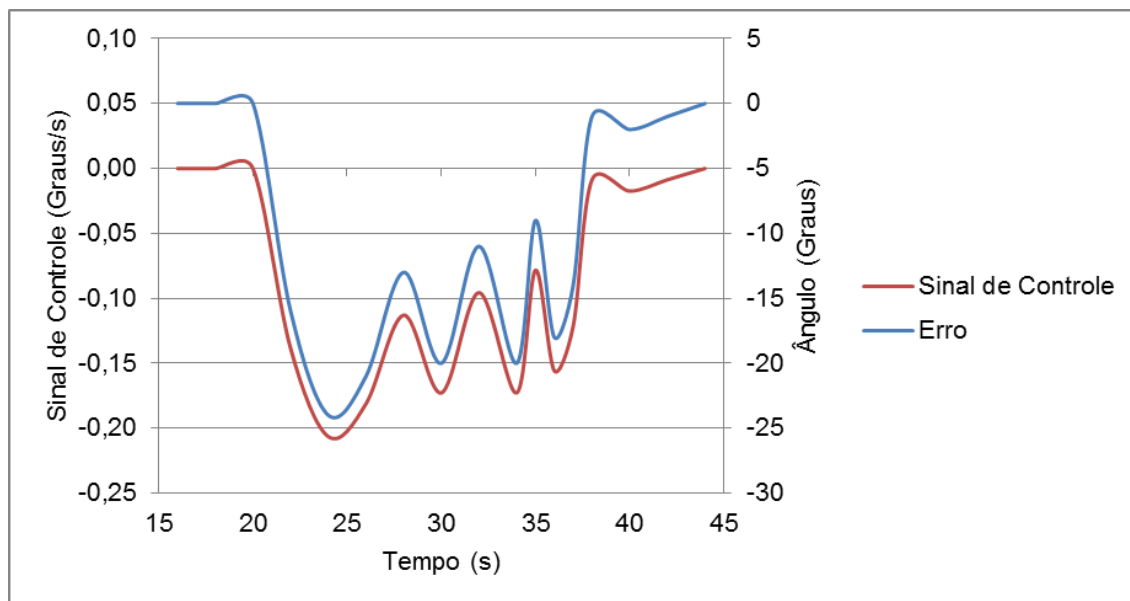
No Gráfico 11 observa-se o comportamento do erro linear e do sinal de controle, de acordo com a posição do robô em relação à pessoa, baseada na distância social.

Gráfico 11 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “seguir”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 12 - Erro angular e sinal de controle do modo de operação “seguir”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da análise dos Gráficos 11 e 12 nota-se a constância do controlador, observando-se o erro angular e o respectivo sinal de controle. Com comportamento similar ao dos gráficos anteriores, identifica-se que por meio do sinal de controle, ocorre a diminuição do erro até que este valor seja nulo.

Ressalva-se que as oscilações presentes nos Gráficos 11 e 12 são decorrentes da movimentação da pessoa e não de alguma instabilidade do controlador.

5.3 Controle do Robô Móvel – Segurança e área de interação

5.3.1 Motivação

Neste experimento demonstrou-se o comportamento do robô em situações caracterizadas como “fuga” da criança (representada no teste por um adulto voluntário). O objetivo principal foi comprovar que o robô interromperá o modo “seguir” quando a criança sair do “quadrado” de interação, e retornará à posição inicial caso ela não retorne à área definida para o teste após determinado intervalo de tempo.

Retornando à posição inicial, o robô aguardará nova interação. Deseja-se evitar traumas relacionados à aproximação indesejada do robô, respeitando também o desejo e o momento da criança de interagir ou não.

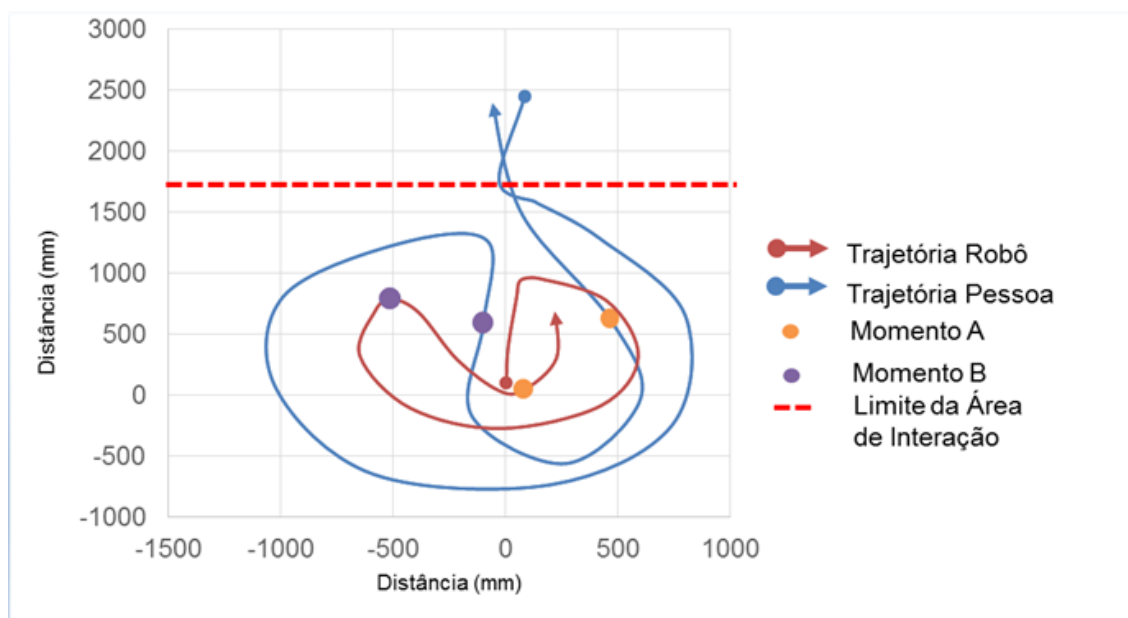
5.3.2 Metodologia

Para obter uma dinâmica maior no teste, trabalhou-se apenas com o modo de operação “seguir”. No experimento a pessoa foi orientada 1) a se movimentar de forma livre; 2) a sair da área de interação em determinado momento; 3) retornar para o “quadrado” em intervalo inferior a um minuto; 4) interagir novamente com o robô; e 5) ausentar-se da área de interação de forma definitiva, a fim de o robô retornar à sua posição inicial representada no Gráfico 13 da subseção “5.3.3 Resultados” pela marcação “●”.

5.3.3 Resultados

O Gráfico 13 mostra o posicionamento da pessoa e do robô durante as ações 1 e 2 descritas na subseção “5.3.2 Metodologia”. O erro linear e a distância entre a pessoa e o robô são apresentados no Gráfico 14.

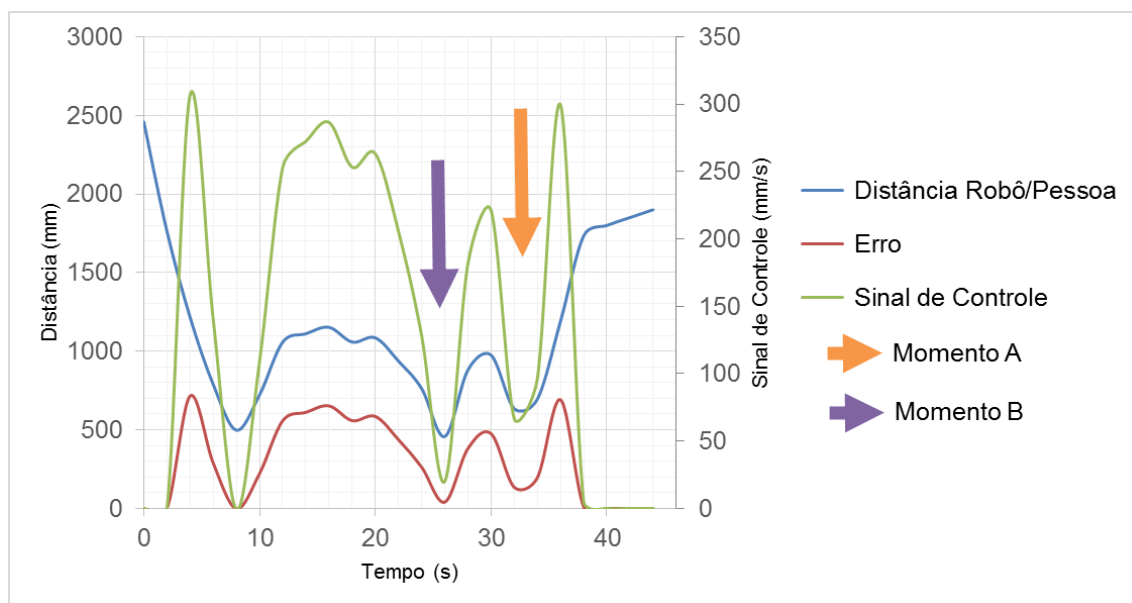
Gráfico 13 - Posição do robô e da pessoa durante interação no modo “seguir”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os círculos marcados no Gráfico 13, nota-se que correspondem a momentos em que o erro linear aproximou-se do valor zero, representando uma distância entre a pessoa e o robô próxima àquela pré-configurada como distância social.

Gráfico 14 - Erro linear, sinal de controle e distância entre a pessoa e o robô do modo de operação “seguir”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da análise combinada dos Gráficos 13 e 14, denota-se que no início e no fim da interação, em que a pessoa se encontrava fora da área de interação, os erros linear e de sinal de controle são nulos (ocasião em que o robô fica parado). O fim da interação, registrada no Gráfico 13, mostra um distanciamento maior entre a pessoa e o robô.

Isso ocorreu devido à pessoa ter se deslocado em velocidade maior, fato comprovado pelo Gráfico 14 que demonstra um rápido aumento da distância entre a pessoa e o robô no fim da interação, até que ela saísse da área de interação. Neste instante os erros são nulos, indicando que o robô entrou no modo estático.

5.4 Tele-operação

5.4.1 Motivação

Nesta pesquisa também foi avaliada a resposta do robô a comandos enviados pelo terapeuta, através de falas, expressões faciais e movimentos a serem executados pelo robô. Dessa forma, avaliou-se a efetividade do controle proposto ao terapeuta. Para esse experimento, o autor desta Dissertação de Mestrado exerceu o papel do terapeuta.

5.4.2 Metodologia

Para avaliar o tempo de resposta aos comandos recebidos pelo robô a partir dos sinais de controle enviados pelo terapeuta, escolheu-se uma série de comportamentos a ser enviada à medida que o autor percebesse que o comportamento anterior tivesse sido executado.

A opção por aguardar que o comportamento anterior fosse executado justifica-se pelo fato de que se o robô receber um comportamento novo com o mesmo caráter de um comportamento anterior antes que este último fosse executado, este será sobrescrito e, portanto, não executado.

Ressalta-se que comportamentos de caráter diferentes, como fala e movimentos, podem ser executados simultaneamente (enviados juntos), permitindo, assim, a geração de novos comportamentos (esta operação não foi executada neste experimento).

5.4.3 Resultados

Ao analisar os dados relacionados aos comportamentos enviados e aos comportamentos executados, identificou-se um erro de 10%, que corresponde a quatro comportamentos não executados. Tal falha ocorreu devido à sobreposição de comportamentos, isto é, o comportamento foi registrado, mas antes de ser executado, o sistema de controle recebeu outro comportamento para ser executado.

Para comportamentos relacionados à mobilidade do robô, percebeu-se um atraso na resposta comparado com os comportamentos de fala ou de expressões faciais. A investigação sobre o motivo do atraso concluiu que ele está diretamente relacionado

ao tempo de requisição do *web service* feito pelo sistema móvel do robô, com intervalos que podem chegar a um segundo entre a requisição e a resposta. Ainda assim percebeu-se que esse tempo de resposta atende à dinâmica desejada sem prejuízos.

5.5 Operação semi-autônoma

5.5.1 Motivação

Aplicando as configurações propostas na Tabela 2, analisou-se se as configurações de ativação e de inibição dos comportamentos resultaram em um comportamento coerente²³, caracterizando uma interação mais socialmente aceitável, e se ela apresentou progressos decorrentes do *feedback* do terapeuta sobre a interação (enviando informações via *tablet* para o robô).

5.5.2 Metodologia

Durante o experimento, o autor exerceu o papel do terapeuta, operando o controle do robô (no *tablet*), e um adulto voluntário representou a criança. O autor indicava o grau de interação e a curiosidade entre o voluntário e a N-MARIA. Desta feita, os comportamentos foram ativados ou inibidos a depender da situação em que se encontrava a interação.

Registraram-se os dados enviados, via *tablet*, com o grau de interação e curiosidade, com as informações acerca das distâncias (Proxêmica), os momentos em que ocorreram ou não toque físico no robô, e a indicação de ativação ou inibição de todos os comportamentos.

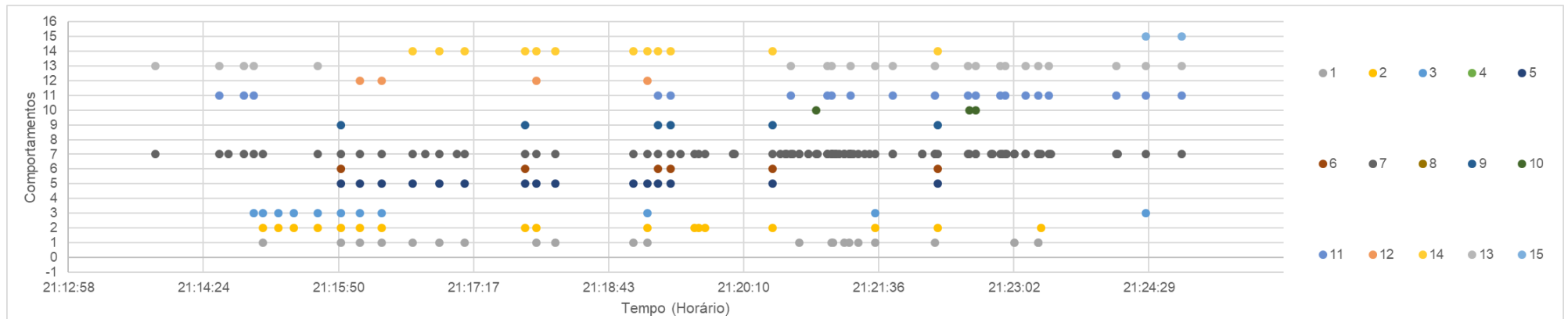
5.5.3 Resultados

Para possibilitar um melhor entendimento dos comportamentos ativados durante a interação, as informações de todas as variáveis relacionadas ao experimento estão dispostas nos Gráficos 15, 16, 17 e 18. O Gráfico 15 mostra os comportamentos que foram ativados naquele momento da interação. O Gráfico 16 é o que de fato foi

²³ A Tabela 2 foi apresentada na subseção 4.3.3 “Controle baseado em comportamentos”.

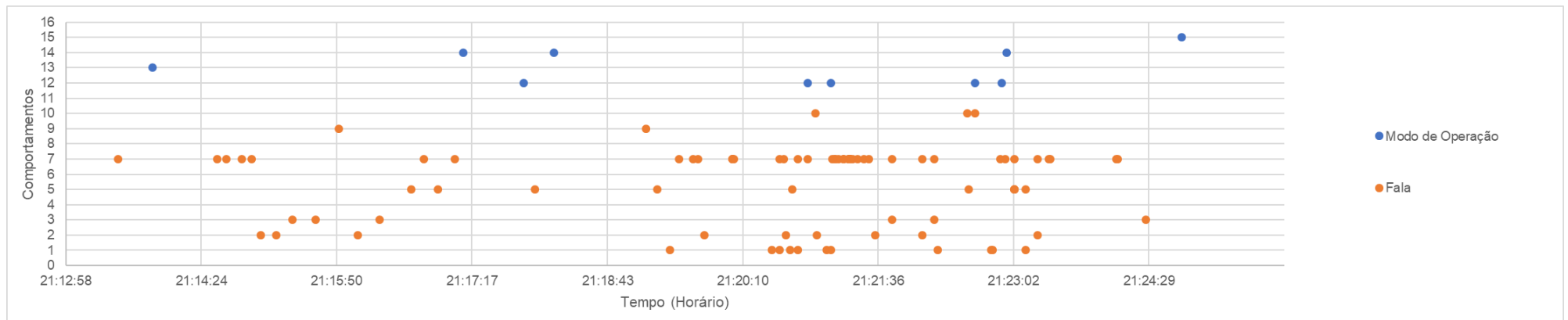
executado pelo robô. Já os Gráficos 17 e 18 mostram como as variáveis utilizadas para o cálculo da ativação dos comportamentos se comportaram ao longo do tempo.

Gráfico 15 - Comportamentos e seus momentos de ativação.



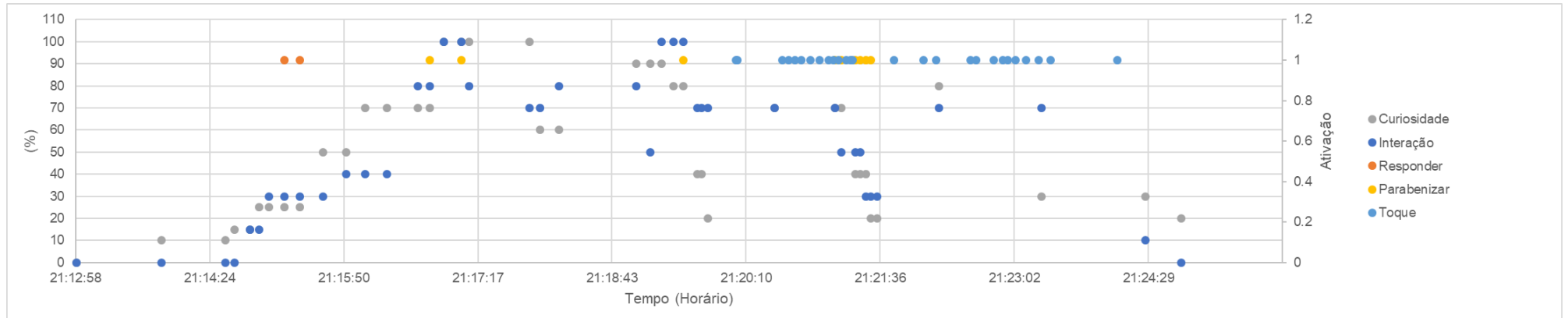
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 16 - Comportamentos executados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 17 - Variáveis utilizadas para se calcular os níveis de ativação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 18 - Região social onde a Pessoa(Criança) está, em relação ao Robô.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os Gráficos 15 e 16, identifica-se que houve uma boa distribuição quanto à decisão de qual comportamento adotar a partir da escolha aleatória para os casos em que mais de um comportamento foi ativado. Porém, os dados do Gráfico 16 indicam que, mesmo com uma boa diversidade de comportamentos executados ao longo do tempo, houve a repetição dos comportamentos 1 e 7 em mais de um momento, o que não é interessante para a interação.

Em relação à ativação e à inibição dos comportamentos, considera-se ter havido desempenho satisfatório, porquanto os comportamentos ligados ao toque e aos comandos de responder ou parabenizar motivaram o voluntário (no papel da criança) a avançar na interação com o robô. Isso indica, assim, um enriquecimento da interação.

No Gráfico 17 é possível notar que a ativação de comportamentos a partir do toque é positiva, tendo havido, após o primeiro toque, um estímulo para a ocorrência de novos contatos físicos. Além disso, pode-se observar que os valores referentes à curiosidade e à interação aumentaram no início da interação e diminuíram ao final dela, influenciando, assim, nos comportamentos a serem ativados.

O Gráfico 18, por sua vez, mostra o comportamento de se aproximar e se afastar do robô, em alguns momentos, devido à própria movimentação de N-MARIA. Observam-se, também, vários períodos de permanência do voluntário próximo à N-MARIA, o que pode ser interpretado como interesse por parte dele em interagir com o robô.

Notou-se também que os comportamentos ligados à mobilidade do robô demandam maior correlação com os demais comportamentos, principalmente àqueles relacionados à fala. Um exemplo dessa necessidade são os casos em que se executam falas com caráter convidativo. Estas carecem de um comportamento de característica móvel em sequência, podendo gerar, assim, uma frustração por parte da criança.

Da análise do experimento como um todo se conclui que mesmo sem uma configuração feita por um profissional da área, com limitação de comportamentos de fala e mobilidade, e sem considerar influência entre os comportamentos, houve um aumento do interesse e da curiosidade do voluntário em relação ao robô. Acredita-se

que o desenvolvimento de comportamentos mais simples, e com configurações mais adequadas, poderão contribuir para uma melhor interação entre a criança e a N-MARIA.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a concepção, modelagem, projeto de controle, desenvolvimento do sistema, estado da arte e aplicações em Robótica Socialmente Assistiva,.

Realizou-se uma investigação dos possíveis controladores, a fim de desenvolver um sistema para controle do robô, de forma semi-autônoma, por meio da influência do terapeuta. Definiu-se a aplicação de um controle baseado em comportamentos de seleção de ação, devido à sua maior aderência à possibilidade de novas expansões do sistema.

Conclui-se que a proposta do sistema robótico, um robô móvel semi-autônomo voltado para o auxílio a terapias de crianças com TEA, apresentou resultados satisfatórios. O controlador desenvolvido, na aplicação móvel, manteve-se estável e apresentou erros consideravelmente baixos.

Ao atingir os objetivos em cada modo de operação, o controle remoto do robô e o baseado em comportamentos atenderam às expectativas de resposta no tempo, e apresentaram coerência em relação aos comandos escolhidos.

A análise da construção da plataforma robótica comprovou que as expectativas das crianças sobre a estrutura e a aparência física de um robô foram atendidas e, ousa-se sugerir, superadas no caso da reação de “surpresa”, após conhecerem a N-MARIA.

Em relação às fragilidades desta pesquisa, ressalta-se o prazo disponível desde o desenvolvimento construtivo e sistêmico até a conclusão, que se mostrou insuficiente para a realização de experimentos da plataforma (operando em sua plenitude) com crianças, dos pesos dos comportamentos no controle automático, o desenvolvimento de novos modos de operação para a parte móvel, e o atendimento de todas as melhorias sugeridas pelas crianças respondentes do questionário.

Vislumbra-se, para a continuidade desta pesquisa, a melhora da calibração dos ativadores e inibidores dos comportamentos por meio de experimentação feita pelo terapeuta. Também se cogita o desenvolvimento de novos comportamentos na parte

móvel do robô e na de comunicação verbal, a fim de possibilitar a criação de novos comportamentos.

Além dessas melhorias, são listadas a seguir as possibilidades de desdobramento desta pesquisa de Mestrado, identificadas ao longo desses dois anos de trabalho:

- Controle baseado em comportamento para a aplicação móvel do robô, utilizando o conceito de campos potenciais;
- Mudança de plataforma de desenvolvimento para o ROS (*Robot Operating System*);
- Posicionamento do robô por meio de SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), utilizado para correção do erro de odometria ao longo do tempo;
- Criação de partes sobressalentes do robô para eventuais substituições a serem feitas entre uma seção terapêutica e outra;
- Aplicação móvel no *tablet* do terapeuta, em que ele salva o caminho a ser percorrido pelo robô e envia para o robô executar;
- Controle remoto móvel do robô no *tablet* do terapeuta;
- Instalação de outros sensores de toque nas demais áreas do robô;
- Instalação de sensor de batimento cardíaco, umidade e temperatura nas mãos do robô;
- Inclusão de um sistema de câmera RGB e câmera térmica para inferir as emoções da criança;
- Implementação de algoritmos de reconhecimento de pessoa e desenvolvimento de um sistema multi-interação (interação com mais de uma pessoa);
- Inclusão de um sintetizador de voz, para transformar texto em fala;
- Estudo acerca de novos atuadores para o robô, com o intuito de enriquecer a interação;
- Adequação da estrutura móvel para permitir customizações estéticas de maneira simples e rápida;
- Desenvolvimento de comportamentos para rostos que não sejam “felicidade” ou “neutro”;
- Estudo da viabilidade e aplicabilidade de reconhecimento de voz para melhorar a interação;

- Desenvolvimento de jogos interativos para o *tablet* utilizado como rosto do robô.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT, 2018. Disponível em: < <https://www.adafruit.com/product/2340>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

ALBUS, J. S.; PROCTOR, F. G. A reference model architecture for Intelligent Hybrid Control Systems, **IFAC 13th Triennial World Congress**, San Francisco/USA, 1996. pp. 4905-4910.

AMBROSE, R. O.; ALDRIDGE, H.; ASKEW, R. S.; BURRIDGE, R. R.; BLUETHMANN, W.; DIFTLER, M.; LOVCHIK, C.; MAGRUDER, D.; REHNMARK, F. Robonaut: NASA's space humanoid, **IEEE Intelligent Systems and Their Applications**, v. 15, n. 4, 2000, pp. 57–63.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** (DSM–5). 5th edition. American Psychiatric Association, 2013.

ANDA, D. E. H. **Control de Robots Móviles de Servicio Profesional**. [Tesis Doctoral] San Juan/Argentina: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, 2017.

ANDA, D. E. H. **Control de Robots Móviles de Servicio Profesional**. Tese (Doutorado). San Juan: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, 2017.

ANSERMET, F. & GIACOBINO, A. **Autismo**: a cada um o seu genoma. Tradução Zelma Galesi. Coleção Psicanálise & Ciência – EBP. Petrópolis/RJ: KBR Editora Digital Ltda/Escola Brasileira de Psicanálise, 2013.

ARKIN, R. C. **Behavior-Based Robotics**. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1998.

ARKIN, R. C. Motor Schema based navigation for a mobile robot: na approach to programming behavior, **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, march 1987, p. 264-271.

ARKIN, R. C. **Reactive Robotics Systems**. 1995. Disponível em: < <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/22221/handbook.pdf>> Acesso em: 20 de dezembro de 2017.

BHATTACHARYA, A. 2016. **Amazon is just beginning to use robots in its warehouses and they're already making a huge difference**, june 17, 2016. Disponível em: <<https://qz.com/709541/amazon-is-just-beginning-to-use-robots-in-its-warehouses-and-theyre-already-making-a-huge-difference/>> Acesso em: 20 dez. 2017.

BILLARD, A. Robota. Clever toy and education tool, **Robotics and Autonomous Systems**, n. 42, 2003, pp. 259-269.

BILLARD, A.; ROBINS, B.; NADEL, J.; DAUTENHAHN, K. Building Robota, a mini-humanoid robot for the rehabilitation of children with autism. **Assistive Technology**, n. 19(1), 2007, pp. 37–49.

BINOTTE, V.; BALDO, G.; GOULART, C.; VALADÃO, C.; CALDEIRA, E.; BASTOS, T. Control Strategies for a robot for interaction with children with Autism Spectrum Disorder, **International Journal of Electrical and Information Engineering**, v. 11, n. 3, 2017, pp. 347-352.

BINOTTE, V.; GOULART, C.; VALADÃO, C. T.; CALDEIRA, E.; BASTOS, T. Estratégias de controle de robô social para interação com crianças com Transtorno do Espectro Autista. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. Porto Alegre/RS, 2017. pp. 1-6.

BOSTON DYNAMICS, 2017. Disponível em:
<<https://www.bostondynamics.com/spot-mini>> Acesso em: 29 dez. 2017.

BRAITENBERG, V. **Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology**. Cambridge-Massachusetts/London-England: The MIT Press, 1984.

BROOKS, R. A. A robust layered control system for a mobile robot, **IEEE Journal of Robotics and Automation**, vl. 2, pp. 1986, 14–23.

BROOKS, R. A. A robust layered control system for a mobile robot, **IEEE Journal of Robotics and Automation**, v. 2, n° 1, 1986. pp. 14-23.

BURKE, J. L.; MURPHY, R. R.; ROGERS, E.; LUMELSKY, V. J.; SCHOLTZ, J. Final report for the DARPA/NSF Interdisciplinary Study on Human-Robot Interaction. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, Part C (Applications and Reviews), v. 34, n. 2, maio 2004, pp. 103-111.

CABIBIHAN, J. J.; JAVED, H.; ANG, M.; ALJUNIED, S. M. Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with Autism, **International Journal of Social Robotics**, v. 5, n° 4, 2013. pp. 593-618.

CHEVALIER, P.; GENNARO, R.; MARTIN, J.; ISABLEU, B.; BAZILE, C.; TAPUS, A. Do sensory preferences of children with Autism impact an imitation task with a robot? **HRI '17 Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**, 2017, pp. 177-186.

CONNELL, J. **Architecture for an Artificial Creature**. Massachusetts/USA: MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1989.

COSTA, S. C. C. **Affective Robotics for Socio-Emotional Development in Children with Autism Spectrum Disorders**. [Tese de Doutorado] Universidade do Minho/Portugal: Programa Doutoral em Engenharia Eletrónica e de Computadores da Escola de Engenharia, 2014.

COUTINHO, J. V. S. C. & BOSSO, R. M. V. Autismo e Genética: uma revisão de literatura, **Revista Científica do ITPAC**, v. 8, n. 1, Pub. 4, janeiro 2015.

DAUTENHAHN, K. Human-Robot Interaction. In: **The Encyclopedia of Human-Computer Interaction**. 2 Ed. The Interaction Design Foundation, 2013. Disponível em: < <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/human-robot-interaction> > Acesso em: 28 de dezembro de 2017.

DAUTENHAHN, K. Robots as social actors: AURORA and the case of Autism, **Proceedings Third Cognitive Techonology Conference CT'99**, San Francisco, august 1999.

DAUTENHAHN, K. Socially intelligent robots: dimensions of human-robot interaction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1480, 2007, p. 679-704.

DAUTENHAHN, K.; BILLARD, A. Games children with autism can play with Robota, a humanoid robotic doll, **Proc. Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology**, Springer-Verlag, 2002, pp. 179-190.

DAUTENHAHN, K.; WERRY, I. Towards interactive robots in autism herapy: Background, motivation and challenges. **Pragmatics & Cognition**, n.12(1), 2004, pp. 1–35.

DONVAN, J.; ZUCKER, C. **Outra sintonia: a história do Autismo**. Tradução Luiz A. de Araújo. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

DUQUETTE, A.; MICHAUD, F.; MARCIER, H. Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism. **Autonomous Robots**, v. 24, 2007, pp. 147-157.

EURONEWS. 2017. Disponível em: <<http://pt.euronews.com/2014/07/30/opportunity-o-robot-que-superou-as-expectativas-em-marte>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

FEIL-SEIFER, D., MATARÍC, MJ. Automated detection and classification of positive vs. negative robot interactions with children with Autism using Distance=Based Features, **HRI'11 Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction**, 2011, pp. 323-330.

FEIL-SEIFER, D., MATARÍC, MJ. Defining Socially Assistive Robotics. **Proc. IEEE 9th Int. Conf. Rehabil. Robot (ICORR 2005)**, Chicago, Piscataway, NJ: IEEE, 2005, june 28-july 1, pp. 465-468.

FEIL-SEIFER, D., MATARÍC, MJ. Socially Assistive Robotics: Ethical Issues related to Technology, **IEEE Robotics & Automation Magazine**, 14 april 2011, pp. 24-31.

FERNANDES, F. S. O corpo no Autismo, **Psi: Revista de Psicologia da Vetor editora**, v. 9, n. 1, 2008, pp. 109-114.

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios, **Revista de Direito Sanitário**, v. 15, n° 3, 2014. pp. 18-45.

FIRBY, R. J.; PROKOPOWICZ, P. N.; SWAIN, M. J. The animate agent architecture, **Artificial intelligence and mobile robots: case studies of successful robot systems**, 1998, pp. 243-276.

GAT, E. **Reliable goal-directed reactive control of autonomous mobile robots**. [Tese de Doutorado]. Virginia Tech, 1991.

GOODRICH, M. A.; SCHULTZ, A.C. Human-Robot Interaction: a Survey, **Human-Computer Interaction**, v. 1, n° 3, 2007. pp. 203-275.

GOULART, Christiane Mara. **Uma contribuição ao estudo de sinais de EEG para avaliar estados emocionais e mentais de crianças com Autismo na interação com robô móvel**. [Dissertação de Mestrado] Vitória: Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia/Ufes, 2015.

HALL, E. T. **A dimensão oculta**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

HASTINGS, R. P. Behavioral Adjustment of Siblings of Children with Autism Engaged in Applied Behavior Analysis Early Intervention Programs: The Moderating Role of Social Support, **Journal of Autism and Developmental Disorders**, v. 33, n° 2, april 2003, pp. 141-150.

HAZLETT, H.; POE, M. D.; GERIG, G.; STYNER, M.; CHAPPELL, C.; SMITH, R. G.; VACHET, C.; PIVEN, J. Early Brain Overgrowth in Autisma Associated With an Increase in Cortical Surface Area Before Age 2 Years, **Arch Gen Psychiatry**, 68(5), 2011, pp. 467-476.

IACONO, I.; LEHMANN, H.; MARTI, P.; ROBINS, B.; DAUTENHAHN, K. Robots as social mediators for children with autism - A preliminary analysis comparing two different robotic platforms, **IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL)**, 2011.

IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 20 ago. 2016.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=empilhadeiras-ultrapassam-carros-sem-motorista&id=010170171123#.WmR0uqhKuUn>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ISMAIL, L. I.; SHAMSUDIN, S.; YUSSOF, H.; HANAPIAH, A.; ZAHARI, N. I. Robot-based intervention program for autistic children with humanoid robot NAO: initial response in stereotyped behavior, **Procedia Engineering**, n. 41, 2012, pp. 1441-1447.

JUNIOR, V. G. **Arquitetura híbrida para robôs móveis baseada em funções de navegação com interação humana**. [Tese de Doutorado] Universidade de São Paulo, 2006.

KIM, E. S.; BERKOVITS, L. D.; BERNIER, E. P.; LEYZBERG, D.; SHIC, F.; PAUL, R.; SCASSELLATI, B. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in

children with autism. **Journal of Autism and Developmental Disorders**, n°. 43(5), 2013. pp. 1038-49.

KONG, A. et al. Rate of de novo mutations, father's age, and disease risk. **Nature**, v. 488, n. 7412, 2012. pp. 471-475.

KOZIMA, H.; MICHALOWSKI, M. P., NAKAGAWA, C. Keepon. **International Journal of Social Robotics**, 1(1):3–18, 2009.

LI, C.; JIA, Q.; FENG, Y. Human-Robot Interactoin Design for Robot-Assisted Intervention for Children with Autism Based on E-S Theory, **8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics**, 2016, pp. 320-324.

MAES, P. The Dynamics of action selection, **IJCAI'89 Proceedings of the 11th international joint conference on Artificial intelligence**, v. 2, 1989. pp. 991-997.

MANUAL DIAGNÓSTICO E ESTATÍSTICO DE TRANSTORNOS MENTAIS: DSM-5. Tradução Maria Inês Corrêa Nascimento, et al. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

MEAD, R.; MATARÍ' C, M. J. Autonomous human-robot proxemics: socially aware navigation based on interaction potential, **Autonomous Robot**, n. 41, 2017, pp. 1189-1201.

MEYSTEEL, A. M. **Autonomous Mobile Robots**: vehicles with cognitive control. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1989.

MICHAUD, F.; CLAVET, A. RoboToy Contest – Designing Mobile Robotic Toys for Autistic Children, **American Association for Artificial Intelligence**, 2000.

Disponível em: < <http://introlab.3it.usherbrooke.ca/papers/AAAI2001.pdf> >. Acesso em: 12 dez. 2017.

MICHAUD, F.; THÉBERGE-TURMEL, C. Mobile robotic toys and Autism. In: DAUTENHAHN, K.; BOND, A. H.; CAÑAMERO, L.; EDMONDS, B. (Orgs.). **Socially Intelligent Agents**: creating relationships with computers and robots. Boston/EUA: Kluwer Academic Publishers, 2002, pp. 125-132.

MUMM, J.; MUTLU, B. Human-Robot Proxemics: Physical and Psychological Distancing in Human-Robot Interaction, **HRI'11 Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction**, 2011, pp. 331-338.

MURPHY, R. R. **Introduction to AI Robotics**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2000.

NARAYANAN, V. K.; SPALANZANI, A.; PASTEAU, F.; BABEL, M. On equitably approaching and joining a group of interacting humans, **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)**, 2015, pp. 4071 – 4077.

NEW SCIENTIST, 2009. Disponível em: <<https://www.newscientist.com/article/dn17224-robot-farmhands-prepare-to-invade-the-countryside/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ONU. 2016. **Rejeitar pessoas com autismo é “um desperdício de potencial humano”, destacam representantes da ONU**. Publicado em 07/04/2016.

Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/rejeitar-pessoas-com-autismo-e-um-desperdicio-de-potencial-humano-destacam-representantes-da-onu/>> Acesso em: 20 ago. 2016.

OOSTERHOUT, T. v.; VISSER, A. A visual method for Robot Proxemics Measurements, **Proceedings of Metrics for Human-Robot Interaction: A workshop at the Third ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI08)**, 2008, pp. 61-68.

PACCHIEROTTI, E.; CHRISTENSEN, H. I.; JENSFELT, P., Evaluation of passing distance for social robots, **IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication**, 2006.

PALESTRA, G.; ESPOSITO, F.; DE CAROLIS, B. A multimodal interface for robot-children interaction in Autism Treatment, **CHITaly'17**, September 2017, Cagliari, Italy.

PEREIRA, A. C. dos S.; BARBOSA, M. O.; SILVA, G. G. da; ORLANDO, R. M. Transtorno do Espectro Autista (TEA): definição, características e atendimento educacional, **Educação**, Batatais/SP, v. 5, n. 2, 2015, pp. 191-212.

PEREIRA, Lílían C. Kuhn. **Transtorno do Espectro Autista (TEA): o Brasil precisa ligar a sirene de alerta!** Publicado em: 07/04/2016. Disponível em: < <http://revistacrescer.globo.com/Colunistas/Lilian-Kuhn/noticia/2016/04/transtorno-do-espectro-autista-tea-o-brasil-precisa-ligar-sirene-de-alerta.html>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

PHOENIX, 2017. Disponível em: <https://phoenixdesign.com/en/company/press/products/roboter_red-dot-best-of-the-best/>. Acesso em: 30 dez. 2017.

PIOGGIA, G.; IGLIOZZI, R.; SICA, M. L.; FERRO, M.; MURATORI, F.; AHLUWALIA, A.; DE ROSSI, D. Exploring emotional and imitational android-based interactions in Autistic Spectrum Disorders. **Journal of CyberTherapy & Rehabilitation**, v. 1, n. 1, 2008, pp. 49-61.

POLICASTRO, C. A. **Arquitetura robótica inspirada na análise do comportamento**. [Tese de doutorado] São Carlos/SP: USP, 2008.

QINETIQ, 2017. Disponível em: <<https://www.qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/talon/>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

QUINDERÉ, F. M. G. **Comunicação Humano-Robô através da Linguagem Falada**. Tese (Doutorado). Aveiro: Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, 2013.

RAIZER, K. Braitenberg Vehicles: revisão e aplicações, **IA889**, julho 2009. pp. 1-8.

REIS-ALVES, S. F. **Arquitetura de Controle Inteligente para Interação Humano-Robô**. Tese (Doutorado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, 2016.

RIOS-MARTINEZ, J.; SAPALANZANI, A.; LAUGIER, C. From Proxemics Theory to Socially-Aware Navigation: a survey, **Int Journal of Soc Robotics**, 2014.

RIOS-MARTINEZ, J.; SPALANZANI, A.; LAUGIER, C. From Proxemics Theory to Socially-Aware Navigation: a Survey, **International Journal of Soc Robotics**, v. 5, n° 2, 2015. pp. 137-153.

ROBINS, B.; AMIRABDOLLAHIAN, F.; JI, Z.; DAUTENHAHN, K. Tactile interaction with a humanoid robot for children with autism: A case study analysis involving user requirements and results of an initial implementation, **International Symposium on Robot and Human Interactive Communication**, Viareggio, 2010.

ROBINS, B.; DAUTENHAHN, K.; BOEKHORST, R. T.; BILLARD A. Effects of repeated exposure to a humanoid robot on children with autism, **Proc. Universal Access an Assistive Technology**, Cambridge, 2004a.

ROBINS, B.; DICKERSON, P.; STRIBLING, P.; DAUTENHAHN, K. Robotmediated joint attention in children with autism: A case study in robot-human interaction. **Interaction Studies**, n. 5(2), 2004b, pp. 161-198.

ROBOSHOP, 2018. Disponível em: < <https://www.robotshop.com/blog/en/unboxing-rplidar-a2-360-laser-scanner-18680>>. Acesso em: 3 Jan. 2018.

ROSENBLATT, J. K. DAMN: A distributed architecture for mobile navigation, **AAAI Technical Report SS-95-02**, 1995. pp. 167-178.

ROSENSCHEIN, S. J.; KAEHLING, L. P. The Synthesis of Digital Machines with Provable Epistemic Properties, **Proceedings of Workshop on Theoretical Aspects of Reasoning About Knowledge**, Monterey/California. 1986. pp. 83-98.

ROSSIGNOL, D. A.; FRYE, R. E. A review of research trends in physiological abnormalities in autism spectrum disorders: immune dysregulation, inflammation, oxidative stress, mitochondrial dysfunction and environmental toxicant exposures, **Mol Psychiatry**, 17(4), apr 17, 2012, pp. 389-401.

SALVADOR, M. J.; SILVER, S.; MAHOOR, M. H. An emotion recognition comparative study of autistic and typically-developing children using the zeno robot, **2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**, 2015. pp. 6128-6133.

SAMSUNG, 2017. Disponível em: <<http://www.samsung.com/in/vacuum-cleaners/robot-sr8950/>>. Acesso em: 30 dez. 2017.

SANTÉRIO, F. C. **Controle baseado em comportamentos de robôs móveis autônomos com sensores ópticos e ultrassônicos**. [Dissertação de Mestrado] Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/PUC-Rio, 2010.

SCASSELLATI, B.; ADMONI, H.; MATARÍC, M. Robots for use in Autism research, **Annual Review of Biomedical Engineering**, v. 14, 2012, pp. 275-294.

SCHAEFER, K. The Perception And Measurement of Human-robot Trust. **Theses and Dissertations**. n° 2688. 2013. Disponível em: <
<http://stars.library.ucf.edu/etd/2688>> Acesso em: 10 jan. 2018.

SECHI, H. **Uma introdução aos Robôs Móveis**. Traduzido por Cynthia Netto de Almeida e Felipe Nascimento Martins. Serra/ES: Núcleo de Estudos em Robótica e Automação/lfes, 2012.

SECCHI, H. **Control de vehículos autoguiados con realimentación sensorial**. . [Dissertação de Mestrado] Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, (1998).

SHARMA, A.; KHOSLA, A.; KHOSLA, M.; RAO M., Y. Technological tools and interventions to enhance learning in children with Autism. In: KATS, Y. (Org.). **Supporting the education of children with Autism Spectrum Disorders**. IGI Global, 2016. pp. 204-224.

SHORT, E. S. S.; DENG, E. C.; FEIL-SEIFER, D.; MATARÍC, M. J. Understanding agency in interactions between children with Autism and Socially Assistive Robots, **Journal of Human-Robot Interaction**, v. 6, n. 2, 2017, pp. 21-47.

SILVA, S. I. A. da. **Estudo do efeito da utilização de uma plataforma robótica na intervenção em crianças com perturbações do espectro do autismo**. [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Minho/Portugal: Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica da Escola de Engenharia, 2012.

SIMONITE, T. Robot farmhands prepare to invade the countryside. New Scientist, 2009. Disponível em: < <https://www.newscientist.com/article/dn17224-robot-farmhands-prepare-to-invade-the-countryside/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SONY, 2017. Disponível em: <<http://www.sony-aibo.co.uk/>> Acesso em: 30 dez. 2017.

SRI INTERNATIONAL, 2017. Acesso em: 02 de Janeiro de 2018. Disponível em: <
<https://www.sri.com/work/timeline-innovation/timeline.php?timeline=computing-digital#!&innovation=shakey-the-robot>>. Acesso em: 30 dez. 2017.

SUZUKI, S.; LEE, J. Robot-play Therapy for Improving Prosocial Behaviours in Children with Autism Spectrum Disorders, **International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)**, 2016, pp. 1-5.

SYRDAL, D. S.; DAUTENHAHN, K.; KOAY, K. L.; WALTERS, M. L. The Negative Attitudes Towards Robots Scale and reactions to robot behaviour in a live Human-Robot Interaction study. **Adaptive and Emergent Behaviour and Complex Systems**: Procs of the 23rd Convention of the Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour, AISB 2009. SSAISB, pp. 109-115.

TANG, G.; GUDSNUK, K.; KUO, S. H.; COTRINA, M. L.; SOSUNOV, A.; SONDEERS, M. S.; KANTER, E.; CASTAGNA, C.; YAMAMOTO, A.; YUE, Z.; ARANCIO, O.;

PETERSON, B. S.; CHAMPAGNE, F.; DWORK, A. J.; GOLDMAM, J.; SULZER, D. Loss of mTOR-dependent macroautophagy causes autistic-like synaptic pruning deficits, **Neuron**, 83(5), sep 3, 2014, pp. 1131-1143.

THE AuRoRA Project. 2018. Disponível em: <http://aurora.herts.ac.uk/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=9&Itemid=110>. Acesso em: 10 jan. 2018.

TRUONG, H. L.; DUSTDAR, S. A survey on context-aware web services systems, **International Journal of Web Information Systems**, v. 5, n° 1, 2009. pp. 5-31.

VALADÃO, C. T., et al. Analysis of the use of a robot to improve social skills in children with autism spectrum disorder. **Research on Biomedical Engineering**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 2, Apr./June 2016. p. 161-175.

VANDEVELDE, C. et al. The use social robot ONO in robot assisted therapy, **International Conference on Social Robotics International Conference on Social Robotics, Proceedings**. 2013

WALTERS, M. L.; OSKOEI, M. A.; SYRDAL, D. S.; DAUTENHAHN, K. A long-term Human-Robot Proxemic Study, **20th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN)**, 2011, pp. 137-142.

WONG, H. Y. A; ZHONG, Z. W. Assessment of robot training for social cognitive learning, **16th International Conference on Control, Automation and System (ICCAS 2016)**, Gyeongju/Korea, octobre 16-19, 2016, pp. 893-898.

YAMAOKA, F.; KANDA, T.; ISHIGURO, H.; HAGITA, N., Lifelike behavior of communication robots based on developmental psychology findings, **IEEE/RSJ International Conference on Humanoid Robots**, 2005.

YUN, S.; KIM, H.; CHOI, J.; PARK, S. A robot-assisted behavioral intervention system for children with autism spectrum disorders. **Robotics and Autonomous Systems**, n. 76, 2016, pp. 58-67.

ZANON, R. B., BACKES, B., BOSA, C. A. Identificação dos primeiros sintomas do Autismo pelos pais, **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 30, n. 1, jan-mar 2014, pp. 25-33.